



Universidad Autónoma Chapingo

Unidad Regional Universitaria De Zonas Áridas

“EFECTO DE LA SUPLEMENTACIÓN DE NOPAL (*Opuntia megacantha*) ENRIQUECIDO PROTEÍNICAMENTE SOBRE LA REACTIVACIÓN DE LA FUNCIÓN OVÁRICA EN CABRAS ANÉSTRICAS EXPUESTAS AL EFECTO MACHO: NIVELES SÉRICOS DE GLUCOSA Y COLESTEROL”

TESIS

QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA
OBTENER EL TÍTULO DE:

**MAESTRO EN CIENCIAS EN RECURSOS NATURALES
Y MEDIO AMBIENTE EN ZONAS ÁRIDAS
(UACH-URUZA-MÉXICO)**

PRESENTA:

ADRIÁN NEVÁREZ DOMÍNGUEZ

DIRECTOR:

Dr. CESAR A. MEZA HERRERA



DIRECCION GENERAL ACADEMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES

Bermejillo, Durango, México, 2019



“EFECTO DE LA SUPLEMENTACIÓN DE NOPAL (*OPUNTIA MEGACANTHA*) ENRIQUECIDO PROTEÍNICAMENTE SOBRE LA REACTIVACIÓN DE LA FUNCIÓN OVÁRICA EN CABRAS ANÉSTRICAS EXPUESTAS AL EFECTO MACHO: NIVELES SÉRICOS DE GLUCOSA Y COLESTEROL”

Tesis realizada por **C. Adrián Nevárez Domínguez**, bajo la Dirección del comité revisor, evaluada y aprobada como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS EN RECURSOS NATURALES
Y MEDIOAMBIENTE EN ZONAS ÁRIDAS**

Director



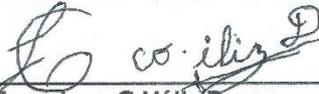
Dr. Cesar A. Meza Herrera
Universidad Autónoma Chapingo - URUZA

Co-Director



Dr. Arnólido Flores Hernández
Universidad Autónoma Chapingo - URUZA

Asesor



Dr. Francisco G. Véliz Deras
Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro-UL

Asesor



Dr. Ulises Macías Cruz
Universidad Autónoma de Baja California-ICA

Asesor



Dra. Ma. Guadalupe Calderón Leyva
Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro-UL

AGRADECIMIENTO

Se hace patente un reconocimiento al apoyo recibido para el desarrollo de la presente investigación:

- ❖ Al Programa de Becas Nacionales CONACyT 2017-2018.

- ❖ A la Dirección General de Investigación y Posgrado de la Universidad Autónoma Chapingo.

- ❖ Al Programa de Maestría en Ciencias en Recursos Naturales y Medio Ambiente en Zonas Áridas 2017-2018 (UACH-URUZA).

AGRADECIMIENTOS

Agradezco infinitamente a Dios por prestarme salud y por darme la oportunidad de entrar y poder culminar satisfactoriamente mi posgrado en mi alma mater.

Al posgrado de la URUZA – UACH por darme el conocimiento y formarme durante esto dos años, además de ser un segundo hogar durante mi estancia.

A todos mis maestros del posgrado los cuales me dieron las armas para poder avanzar en mi vida profesional.

Al Dr. Cesar A. Meza Herrera por darnos la oportunidad, asesoría, consejos, paciencia y su dedicación para la realización de mi tesis, los cuales fueron de gran importancia dentro de nuestra formación.

Así como también al comité revisor por el tiempo dedicado en apoyar este trabajo.

A todos mis compañeros y amigos del posgrado en especial a Máyela, Luis, Mónica, Arnoldo, Mariana y a todos aquellos que fueron parte de mis vivencias.

ÍNDICE DE FIGURAS, CUADROS Y GRÁFICAS

FIGURAS

| Número | Título | Página |
|--------|---|--------|
| 1 | Composición química media (SD), base-seca, de cladodios de <i>Opuntia megacantha</i> Salm-Dyck enriquecidos en su contenido proteico (OPE), así como no enriquecidos (ONE) y ofrecidos como suplemento a cabras adultas de raza mixta (Alpine-Saanen-Nubian x Criollo) expuestas a machos tratados con testosterona en la época de anestro reproductivo (mayo-junio) bajo condiciones de pastizal semiárido-subtropical en el norte de México (25° LN). | 29 |

CUADROS

| Número | Título | Página |
|--------|--|--------|
| 1 | Protocolo experimental de la suplementación dirigida con cladodios de <i>Opuntia megacantha</i> Salm-Dyck proteicamente enriquecidos (OPE), no enriquecidos (ONE) y grupo control no suplementado (CONT) en cabras adultas (Alpina-Saanen-Nubia x Criollo; n=45) expuestas a machos tratados con testosterona en condiciones extensivas en pastizal semiárido-subtropical en el norte de México (25° LN). | 31 |
| 2 | Medias mínimas de cuadrados con respecto a condición corporal (CC), peso vivo (PV ₁ , PV ₁₂ y PV ₃₀), proteína total en sangre (PTS), urea en sangre (US) y; parámetros reproductivos medidos mediante la inducción al estro (IE), la latencia del estro (LE) y la tasa ovulatoria (TO) en cabras adultas (Alpina-Saanen-Nubia x Criollo; n=45); grupos de cabras suplementadas con <i>Opuntia megacantha</i> Salm-Dyck; <i>Opuntia</i> ofrecido no enriquecido (ONE), proteicamente enriquecido (OPE) y grupo control (CONT) no suplementado. Todas las cabras fueron expuestas a machos tratados con testosterona y a un incremento natural del fotoperiodo (de mayo a junio: temporada de anestro) bajo condiciones de pastizal semiárido-subtropical en el norte de México (25° LN). | 34 |

| GRAFICAS | | |
|-----------------|---|---------------|
| Número | Título | Página |
| 1 | Concentraciones séricas de glucosa a través del tiempo de los tratamientos: suplementado con <i>Opuntia</i> proteicamente enriquecido (OPE), suplementado con <i>Opuntia</i> no enriquecido (ONE) y control (CONT) durante el periodo de abril a junio, en cabras anéstricas expuestas al efecto macho en pastizales marginales del norte de México (25° LN). | 35 |
| 2 | Concentraciones séricas de colesterol a través del tiempo de los tratamientos: suplementado con <i>Opuntia</i> proteicamente enriquecido (OPE), suplementado con <i>Opuntia</i> no enriquecido (ONE) y control (CONT) durante el periodo de abril a junio, en cabras anéstricas expuestas al efecto macho en pastizales marginales del norte de México (25° LN). | 36 |

| ÍNDICE DE ABREVIATURAS | |
|------------------------|---|
| ABREVIATURA | SIGNIFICADO |
| AA | Amino Ácidos |
| AGV | Ácidos Grasos Volátiles |
| AUS | Análisis Ultrasonográfico |
| CC | Condición Corporal |
| °C | Grados Centígrados |
| CONT | Grupo Control |
| COL | Colesterol |
| EE | Error Estándar |
| ENm | Energía Neta metabolizable |
| FAD | Fibra Ácido Detergente |
| FSH | Hormona Folículo Estimulante |
| gr dL | Gramos por Decilitro |
| GH | Hormona del Crecimiento |
| GnRH | Hormona Liberadora de Gonadotropinas |
| GLU | Glucosa |
| H | Horas |
| IE | Inducción al Estro |
| IGF-I | Factor de Crecimiento Análogo a Insulina-I |
| IGF-II | Factor de Crecimiento Análogo a Insulina-II |
| INS | Insulina |
| LE | Latencia del Estro |
| LH | Hormona Luteinizante |
| LN | Latitud Norte |
| mg dL | Miligramos por Decilitro |
| Mcal kg | Mega Calorías por Kilogramo |

| | |
|-----------------|--|
| MS | Materia Seca |
| NH ₃ | Amoniaco |
| NNP | Nitrógeno no Proteico |
| NRC | National Research Council |
| ONE | <i>Opuntia</i> No Enriquecido |
| OPE | <i>Opuntia</i> Proteicamente Enriquecido |
| PC | Proteína Cruda |
| PM | Perfil Metabólico |
| PV | Peso Vivo |
| P ₄ | Progesterona |
| TND | Total de Nutrientes Digestibles |
| TO | Tasa Ovulatoria |
| % | Porcentaje |

DATOS BIOGRÁFICOS

El presente trabajo fue realizado por el Ing. Adrián Névarez Domínguez. El cual obtuvo el grado de Ingeniero en Sistemas Pecuarios en el año 2015 por la Universidad Autónoma Chapingo (UACH), Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas (URUZA), ubicada en Bermejillo, Durango, México.

Posteriormente, empezó los estudios de maestría en el programa de posgrado en Recursos Naturales y Medio Ambiente en Zonas Árida en URUZA-UACH, generación 2017-2018. Además, durante el periodo de Octubre a Diciembre del 2018, realizó una estancia de investigación en la Universidad de Córdoba, España.

El Ing. Adrián Névarez Domínguez, ha colaborado en la publicación de diferentes resultados de investigación científica:

- **2017.** Meza-Herrera, C. A., Romero-Rodriguez, C. A., Santamaria-Estrada, C. A., Nevarez-Dominguez, A., Lopez-Flores, N. M., Cano-Villegas, O., Flores-Hernandez, A., Herrera-Machuca, M. A., Veliz-Deras, F. G. y Rosales-Nieto, C. A. Targeted supplementation of protein enriched Opuntia cladodes upon reproductive outcomes in anestrus goats exposed to the male effect: I. Estrus induction, estrus latency and ovulation rate. *Reproduction in Domestic Animals*. Conferencia llevada a cabo en la 21st Annual Conference of the European Society for Domestic Animal Reproduction (ESDAR), Berna, Suiza.
- Haciendo mencion que el trabajo de dicha tesis ha sido aprobado para aparcer en la revista indexada *Animal Science Journal* como articulo científico

Además, ha participado en diferentes congresos, cursos y otras actividades:

- **2017.** Colaborador en el “Proyecto validación de la tecnología de enriquecimiento proteico de nopal (*Opuntia spp*) en el norte de México (17019 IDT)” cuyo responsable técnico fue el Dr. Arnoldo Flores Hernández.
- **2015.** Taller de trabajo “Bases Endocrinológicas de efecto Macho en Pequeños Rumiantes: Resultados en la Comarca Lagunera” realizado el 12 de mayo en Bermejillo, Dgo.
- **2015.** Curso “Sistemas de Información Geográfica QSIG” impartido los días 24, 25 y 26 de febrero del en Chihuahua, Chih.

- **2014.** Curso teórico-práctico, “El estado del arte en la interacción grasa-músculo-pubertad en ovinos” impartido el 26 de marzo en Bermejillo, Dgo.
- **2014.** Estudios de inglés “Level 1”, Realizados en la Universidad Nacional Autónomas de México, UNAM-SAN ANTONIO. San Antonio, Texas, realizado en el mes de julio.
- **2013.** “13º Congreso Internacional de Médicos Veterinarios Zootecnistas Especialistas en Bovinos” realizado los días 7, 8 y 9 de noviembre.
- **2012.** “XXI Curso Internacional Agroforestería para el Ecodesarrollo”, celebrado en la Universidad Autónoma Chapingo, en el marco del Sistema de Postgrados en Medio Ambiente de la Red de Formación Ambiental para América Latina y el Caribe, del Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente, en Bermejillo, Dgo.
- **2012.** “VIII Congreso Nacional sobre Recursos Bióticos de Zonas Áridas” realizada los días 25 y 26 de octubre en Bermejillo, Dgo.
- **2011.** “VII Congreso Nacional sobre Recursos Naturales Bióticos de Zonas Áridas” realizado del 19 al 21 de octubre en Bermejillo, Dgo.
- **2011.** “VII Congreso Nacional sobre Recursos Naturales Bióticos de Zonas Áridas” realizado del 19 al 21 de octubre en Bermejillo, Dgo.

DEDICATORIAS

El presente trabajo lo dedico principalmente a mis padres Ezequiel Nevárez Retana y Rosa María Domínguez Valdez, quienes con su apoyo, esfuerzo, amor me alentaron a superarme y fuera una mejor persona cada día y mejor profesionista, a ellos les debo lo que soy el día de hoy.

A mis hermanos José Luis Nevárez Domínguez y Edgar Giovanni Nevárez Domínguez que siempre me apoyaron y fueron un pilar más en mi formación.

A mis abuelos que aunque unos ya no están lograron sembrar en mis grandes valores: Teodora Valdez †, Francisco Domínguez †, José Nevárez †, María Retana.

ÍNDICE DE CONTENIDO

| | |
|--|-----|
| AGRADECIMIENTO | I |
| AGRADECIMIENTOS | II |
| ÍNDICE DE FIGURAS, CUADROS Y GRÁFICAS | III |
| ÍNDICE DE ABREVIATURAS | V |
| DATOS BIOGRÁFICOS | VII |
| DEDICATORIAS | IX |
| Resumen..... | xii |
| Summary | xii |
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| HIPOTESIS Y OBJETIVO | 5 |
| HIPOTESIS | 5 |
| OBJETIVO | 5 |
| REVISION DE LITERATURA | 6 |
| Importancia de la Caprinocultura en México | 6 |
| Estacionalidad Reproductiva de la Hembra Caprina | 8 |
| Aspectos Reproductivos del Macho Caprino | 10 |
| Estacionalidad Reproductiva | 10 |
| Nutrición y su Relación con la Reproducción | 11 |
| Efecto Macho | 13 |
| Efecto Hembra | 14 |
| Latencia del Estro | 15 |
| Tasa Ovulatoria | 15 |
| Efecto Fotoperiodo | 16 |
| Efecto Hormonal | 16 |
| Efecto Nutricional | 17 |
| Suplementación y su Relación con el Comportamiento Animal | 18 |
| Alimentación y Suplementación con Nopal | 18 |
| Enriquecimiento dirigido del Nopal | 20 |
| Perfil Metabólico | 21 |
| Glucosa | 23 |

| | |
|--|----|
| Papel de la Glucosa en la Reproducción | 24 |
| Colesterol | 26 |
| MATERIALES Y METODOS | 26 |
| Localización del área experimental | 26 |
| Animales y Diseño de Tratamientos | 27 |
| Suplementos Experimentales y Horario de Suplementación | 28 |
| Manejo de los Machos: " Efecto Macho" | 29 |
| Análisis Ultrasonográfico de la Función Ovárica | 30 |
| Muestreo Sanguíneo Intermitente: Metabolitos Sanguíneos | 30 |
| ANÁLISIS ESTADÍSTICO | 32 |
| RESULTADOS | 32 |
| DISCUSIÓN | 36 |
| CONCLUSIONES | 39 |
| LITERATURA CITADA | 40 |

Suplementación de nopal proteicamente enriquecido y reactivación de la función ovárica en cabras anéstricas expuestas al efecto macho: niveles séricos de glucosa y colesterol

Supplementation of protein-enriched *Opuntia* and reactivation of ovarian function in anestrus goats exposed to the male effect: serum levels of glucose and cholesterol

Adrián Nevárez Domínguez¹, Cesar A. Meza-Herrera²

Resumen

Se evaluó el posible efecto de la suplementación estratégica con cladodios de nopal (*Opuntia megacantha* Salm Dick) enriquecido proteicamente con *Saccharomyces cerevisiae* a través de un proceso de fermentación sobre la reactivación de la función ovárica y sobre metabolitos sanguíneos en cabras expuestas al efecto macho y apacentadas en pastizales marginales en la época de anestro reproductivo. La reactivación ovárica consideró las variables de respuesta: inducción al estró (IE, %), latencia del estró (LE, h) y tasa ovulatoria (TO, unidades). Los metabolitos sanguíneos evaluados fueron glucosa (GLU; mg/dL) y colesterol (COL; mg/dL). A principio de mayo, cabras adultas de raza mixta (Alpina-Saanen-Nubia x Criollo; n=45) homogéneas respecto a peso vivo (PV) y condición corporal (CC) fueron distribuidas aleatoriamente en tres grupos: 1) control (CONT; n=15), 2) *Opuntia* proteicamente enriquecido (OPE; n=15) y 3) *Opuntia* no enriquecido (ONE; n=15). Las cabras de los grupos OPE y ONE fueron suplementadas, de manera individual, con 160 g de *Opuntia* durante la mañana (9:00 am a 10:00 am) y apacentadas en el pastizal durante la tarde. El grupo CONT no fue suplementado, sólo apacentado y, el grupo OPE consideró un enriquecimiento proteico mediante un proceso de fermentación semisólido en un biorreactor (NOPAFER - Registro No. 2641 IMPI; con *Saccharomyces cerevisiae* (1%), urea (1%) y sulfato de amonio (0.1%). Las variables PV, CC, PT y UR no difirieron ($P>0.05$) entre tratamientos. Sin embargo, las variables reproductivas difirieron ($P<0.05$) entre tratamientos favoreciendo al grupo suplementado con *Opuntia* enriquecido proteicamente: IE (100 ± 0.18), LE (62 ± 4.24) y TO (1.33 ± 0.25). Estos resultados pueden contribuir a la sustentabilidad de sistemas marginales de producción caprina en zonas áridas.

Palabras clave: Cabras, efecto macho, suplementación estratégica, *Opuntia*, variables reproductivas, metabolitos sanguíneos.

Summary

The possible effect of strategic supplementation with *Opuntia* cladodes protein-enriched through a fermentation process with *Saccharomyces cerevisiae* upon the reactivation of ovarian function and on blood metabolites of anestrus goats exposed to the male effect and grazing in marginal pastures during the reproductive anestrus season, was evaluated. The ovarian reactivation considered the response variables: induction to estrus (IE, %), estrus latency (LE, h) and ovulation rate (TO, units). The evaluated blood metabolites were glucose (GLU mg/dL) and cholesterol (CHO; mg/dL). At the beginning of May, adult mixed-breed goats (Alpina-Saanen-Nubia x Criollo, n = 45) homogeneous regarding live weight (LW) and body condition (BC) were randomly distributed into three groups: 1) control (CONT; n = 15), 2) Protein-enriched *Opuntia* (OPE; n = 15) and 3) non-enriched *Opuntia* (ONE; n = 15). Goats of the OPE and ONE groups were individually supplemented with 160 g of milled and dried cladodes during the morning (9:00 a.m. to 10:00 a.m.) and grazed in the pasture during the afternoon. While the CONT group only grazed marginal pastures, the OPE group received protein enriched cladodes in a semisolid fermentation process in a bioreactor (NOPAFER-Register No. 2641 IMPI; *Saccharomyces cerevisiae* (1%), urea (1%) and ammonium sulfate (0.1%). The variables LW, BC, TP and UR did not differ ($P>0.05$) among treatments. However, the reproductive variables differed ($P<0.05$) among treatment groups, favoring to the group supplemented with protein-enriched *Opuntia*: IE (100 ± 0.18), LE (62 ± 4.24) and TO (1.33 ± 0.25). Such results should contribute to the sustainability of marginal goat production systems under arid land conditions.

Key words: Goats, male effect, strategic supplementation, *Opuntia*, reproductive variables, blood metabolites

¹ Tesista, ² Director

INTRODUCCIÓN

Un escenario recurrente observado en sistemas de producción animal bajo condiciones de pastoreo, es la falta de un suministro continuo de recursos alimenticios, lo cual limita su eficiencia productiva (González-Bulnes *et al.*, 2011), aunque dichos escenarios se transforman en oportunidades para mejorar las posibilidades de desarrollo por parte de los caprinocultores de las regiones áridas de México. El sistema de producción caprino ha tomado gran importancia debido a las múltiples estrategias de comportamiento desarrolladas por parte de la cabra, entre las más importantes se encuentran la reutilización del nitrógeno-urea disponible, los hábitos alimenticios tales como el pastoreo altamente selectivo, ramoneo y posición bípeda, un uso muy eficiente del agua metabólica, además de mostrar una reproducción de tipo estacional. En efecto, en cierta época del año, esta especie inhibe su función reproductiva para asegurar reservas energéticas y poder enfrentar la época de restricción nutricional (González-Bulnes *et al.*, 2010). Estos sistemas de producción poseen escasos recursos bióticos y económicos, y dependen del pastoreo en tierras comunales con productividad limitada, sin embargo, contribuyen al sustento de los agricultores de escasos recursos monetarios (Escareño *et al.*, 2013).

La población caprina en México es de 8'725,172 cabezas (SIAP, 2017), de las cuales 416,820 cabezas (4.8%) corresponde solo a la región Lagunera. Aunque las cabras contribuyen modestamente a la producción nacional de leche y carne (120-150 millones de litros y 36,000 toneladas cada año, 2% y 1% respectivamente), son importantes desde el punto de vista social, ya que representan una fuente de ingresos y de alimentos para numerosas familias campesinas, principalmente en las zonas áridas y semi-áridas del norte

de nuestro país y en la Sierra Madre del Sur entre Puebla, Oaxaca y Guerrero (Guerrero-Cruz, 2010).

La actividad caprina en México ha resurgido en la última década, por lo que día a día incrementa su importancia como una actividad cultural que se redescubre, tanto por el valor nutricional de sus productos y subproductos para la nutrición humana, así como una actividad pecuaria rentable de bajo impacto ambiental (SAGARPA, 2011). Sin embargo, el norte de México donde se concentra la mayor producción caprina del país, y presenta limitaciones ambientales como la estacionalidad reproductiva y un inadecuado balance de nutrientes, principalmente de proteína y energía, lo cual se refleja en bajas condiciones corporales y bajas producciones reproductivas (Mellado y Valdés, 1998; Meza-Herrera *et al.*, 2004).

En condiciones naturales, particularmente en latitudes norte, la reproducción de las cabras es estacional iniciando al final del verano continuando durante todo el otoño hasta mediados del invierno, lo cual les permite tener un parto al año, desde fines de invierno hasta fines del verano y un reposo sexual-reproductivo de marzo a junio, hasta la próxima temporada de empadre. Dicho esquema reproductivo estacional es un reto fisiológico-ambiental que enfrentan los caprinocultores con la industria del cabrito y la leche, que exige el ampliar la temporada de servicios durante un período mayor a lo establecido durante el año y distribuir partos y lactancias en un formato más homogéneo al través del año. En el mismo sentido, muchos de los apoyos gubernamentales son enfocados solo en aquellos animales que se encuentran activos desde un punto de vista reproductivo. La estacionalidad reproductiva es una característica de la mayoría de las razas de ovejas y cabras de latitudes templadas y subtropicales (Chemineau *et al.*, 1992; Aréchiga *et al.*, 2008; Carrillo *et al.*, 2010; Delgadillo, 2010; Meza-Herrera, 2012). Particularmente las cabras son poliestricas

estacionales y manifiestan celos con ovulaciones fértiles y receptividad sexual hacia el macho en una época definida del año, generalmente cuando el fotoperíodo decrece (Shelton, 1978; Urrutia-Morales *et al.*, 2009; Carrillo *et al.*, 2010). Esta reproducción estacional provoca que la producción sea también estacional, lo que genera un problema de comercialización para el productor (Álvarez *et al.*, 1999; González-Bulnes *et al.*, 2011). Se han desarrollado diversos métodos para que hembras en temporada de anestro reproductivo sean inducidas al estro, entre los que destacan los tratamientos fotoperiódicos, los hormonales, los socio-sexuales y los nutricionales (Meza-Herrera *et al.*, 2004, 2007, 2008; Leboeuf *et al.*, 2008; Guerra-García *et al.*, 2009). Un interesante método socio-sexual utilizado en el semiárido mexicano es el “efecto macho” (Véliz *et al.*, 2009; Rosales-Nieto *et al.*, 2011).

El efecto macho es el proceso mediante el cual los sementales inducen la presencia de celos en cabras en anestro estacional y ocurre principalmente en razas de estación reproductiva larga como la Criolla, Nubia y Boer (Urrutia-Morales *et al.*, 2001). Según Véliz *et al.* (2002) y Rivas-Muñoz *et al.* (2010) las cabras anovulatorias del norte de México reinician su actividad estral y ovulatoria al ser expuestas a machos sexualmente activos mediante un tratamiento de 2.5 meses de días largos artificiales, mientras que cuando son expuestas a machos en reposo sexual, la respuesta estral y ovulatoria es menor al 10%.

En los sistemas de producción extensivos existe una limitante económica para recurrir a suplementos alimenticios y pastura de alta calidad como alternativas productivas sustentables (Ben Salem y Smith, 2008). En sistemas de producción marginales o de traspatio como los predominantes en el norte de México, los alimentos con alto contenido de proteínas y carbohidratos (v.g. concentrados comerciales) y pastos de alta calidad son recursos poco disponibles para promover una producción animal sostenible. Por lo tanto, recurrir a

suplementos alimenticios alternativos como subproductos agroindustriales, bloques de alimentación, árboles y arbustos forrajeros menos costosos respecto al uso de suplementos convencionales, es altamente recomendado (Ben-Salem y Smith, 2008). Sin embargo existen plantas que beneficia al productor como por ejemplo el nopal es un forraje con un alto potencial que puede impulsar el sector pecuario en las zonas áridas y mejorar los ingresos de los ganaderos; sin embargo, aunque es alto en carbohidratos y calcio, es pobre en fibra y proteína cruda (PC) (Ben-Salem y Abidi, 2009; Meza-Herrera et al., 2017). De manera interesante, con el enriquecimiento proteico de cladodios de nopal (*Opuntia spp.*), se ha demostrado que es posible aumentar su contenido de proteína cruda de 4% hasta 30% al través del bioproceso de fermentación semisólida (Ariosvaldo *et al.*, 2004; Flores-Hernández *et al.*, 2007; Díaz-Plasencia *et al.*, 2012). Tal escenario ofrece la oportunidad de desarrollar estrategias accesibles para hacer un uso mejor y más eficiente de los recursos alimenticios locales para alimentar al ganado (Ben Salem *et al.*, 2005; Devendra, 2014). En el mismo sentido, algunas técnicas de manejo que involucran señales socio-sexuales, como el efecto macho (Angel García *et al.*, 2015a, 2015b; Luna-Orozco *et al.*, 2012) pueden combinarse con una suplementación a corto plazo con el objetivo de mantener las funciones reproductivas (Meza-Herrera y Tena-Sempere, 2012).

HIPOTESIS Y OBJETIVO

HIPOTESIS

La suplementación con cladodios de nopal (*Opuntia megacantha* Salm-Dyck), enriquecidos en su contenido proteico con *Saccharomyces cerevisiae* acelera la reactivación de la función ovárica e incrementa los niveles séricos de glucosa y colesterol en cabras al ser expuestas al efecto macho en la época de anestro en la Comarca Lagunera.

OBJETIVO

Determinar los efectos de la suplementación con cladodios de nopal (*Opuntia megacantha* Salm-Dyck) enriquecidos proteicamente con *Saccharomyces cerevisiae* sobre la reactivación de la función ovárica y los niveles séricos de glucosa y colesterol en cabras al ser expuestas al efecto macho en la época de anestro reproductivo.

REVISION DE LITERATURA

Importancia de la Caprinocultura en México

La cabra probablemente fue de los primeros rumiantes en ser domesticados hace más de 10,000 años en la antigua Mesopotamia, diseminándose a otras partes del mundo debido a su importante papel en la agricultura, la economía y la cultura desde la revolución agrícola del período Neolítico (Dong *et al.*, 2015), y esta sido una de las especies más útiles al hombre, sobre todo como proveedora de carne, leche y fibras (Mellado, 1997). Por esta razón, la cabra conserva ciertas características anatómicas, fisiológicas y de comportamiento de sus antepasados primitivos (Mellado, 1985).

Según estimaciones del Sistema de Información Agrícola y Pesquera de la SAGARPA, en México el 87% de las cabras se ubican en el área rural, particularmente en las regiones áridas y semiáridas, generando anualmente 163.6 millones de litros de leche. Dentro de los estados productores de leche caprina destacan Coahuila, con el 37.2% del total nacional, Durango 21%, Guanajuato 16.8%, Nuevo León 9.9%, Jalisco 3.7% y Zacatecas 3.2 % (SIAP, 2017). Aunque las cabras contribuyen relativamente poco a la producción mundial de leche y carne con menos del 2% (FAO, 2016), dicha participación es importante desde el punto de vista social, ya que representan un medio de ingreso y fuente de alimentos para numerosas familias campesinas, particularmente en las regiones áridas y semi-áridas del norte de México. En la mayor parte de los Estados de México predominan los sistemas extensivos y semi-intensivos de producción caprina, quedando relegada la producción intensiva a regiones como La Laguna y el Bajío (Echavarría *et al.*, 1999; Meza-Herrera *et al.*, 2010a)

Entre los sistemas semi-intensivos destaca el tipo de pastoreo trashumante, en el que se pastorea el matorral durante la época de lluvias, luego los residuos de cosecha al final del ciclo agrícola de primavera-verano y finalmente, durante los meses de penuria alimenticia en el agostadero se ofrecen en el pesebre alimentos caseros, y en menor grado comerciales. En general, la producción caprina se circunscribe a negocios familiares de campesinos que tienen también actividades agrícolas o de otro tipo, y venden ocasionalmente su fuerza de trabajo. Estos sistemas se establecen alrededor de las industrias que les compran la leche, así como la producción estacional de cabritos y, en menor grado, de los animales de desecho (Echavarría *et al.*, 1999).

Las cabras se han desarrollado bien en las zonas áridas y semiáridas del mundo y, su leche, se produce ampliamente en regiones como África Occidental, el Caribe y África Central en donde la mayor parte se usa para auto consumo. Por otra parte, aunque los países en desarrollo concentran el mayor número de caprinos de leche, los programas de mejoramiento genético se concentran en Europa y América del Norte. Debido a la implementación de estos programas los rendimientos y los períodos de lactancia se han incrementado notablemente. De tal manera que, las razas de cabras lecheras utilizadas en países desarrollados tienen un mayor potencial genético para la producción de leche que las razas utilizadas en los países en desarrollo (Escareño *et al.*, 2013). En la Comarca Lagunera, el 90% de los caprinos son una mezcla de razas con alto encaste a grupos lecheros denominado “mosaico lagunero” manejados bajo un sistema de producción extensivo (Meza-Herrera *et al.*, 2014b). En el mismo sentido, la Comarca Lagunera es una importante región de producción caprina que tiene poco más de 416,820 cabezas de ganado y que se localiza en el árido mexicano (SIAP-SAGARPA, 2017). Los caprinos que actualmente se desarrollan

en la Comarca Lagunera descienden de las razas españolas Murciano-Granadina y Malagueña que, a su vez, se cruzaron con otras razas como la Alpina, Saanen, Toggenbourg y Anglo-Nubia en los últimos 60 años lo cual derivó en una mejora en la producción de leche y carne. Los animales que resultaron de estas cruas son, en la actualidad, la población caprina predominante en la Comarca Lagunera, y se denominan “criollos” o “locales” (Merlos *et al.*, 2008).

Estacionalidad Reproductiva de la Hembra Caprina

Con objeto de asegurar la supervivencia cuando los recursos alimenticios en el entorno ambiental son escasos, diversas especies animales limitan su función reproductiva natural de forma estacional. Esta estacionalidad parece ser estable año tras año, con un marcado inicio y término del periodo estacional tanto en la ovulación para hembras como en la calidad y cantidad de producción de semen en machos (Paul *et al.*, 2008). Esta precisa programación se debe a diversos y complejos mecanismos alineando la activación de factores sexuales con los factores del ambiente externo. Estas adaptaciones son moduladas principalmente por el fotoperiodo, induciendo alteraciones en las secreciones de melatonina por parte de la glándula pineal hacia el hipotálamo, el centro regulador hormonal del cuerpo (Moffatt-Blue *et al.*, 2006). En efecto, el fotoperiodo es una de las señales más importantes para la regulación anual para estimular o inhibir la actividad reproductiva, involucrándose también en el crecimiento de algunos mamíferos (Gazal *et al.*, 2002).

Las cabras son reproductores estacionales que re-inician su actividad reproductiva cuando el fotoperiodo es decreciente durante el otoño y el invierno. La acción que el fotoperiodo ejerce sobre la actividad reproductiva es significativamente modulada por la latitud. Los animales

ubicados en zonas cercanas al ecuador, donde la diferencia del fotoperiodo es apenas perceptible, son capaces de expresar los ciclos estrales durante todo el año. Sin embargo, en las regiones situadas por encima de los trópicos, donde una diferencia en el número de horas luz por día entre días cortos y días largos es más evidente, las cabras presentan dicha estacionalidad reproductiva (Gazal *et al.*, 2002).

Las cabras tienen una actividad reproductiva estacional, con estros que se presentan cada 19 a 21 días. En ocasiones, las cabras presentan estros infértiles y ciclos estrales de corta duración (de 5 a 7 días) al inicio de la época reproductiva y después de que se incorporan los machos. Además, los cuerpos lúteos que se forman al comienzo de la estación reproductiva duran poco, ya que producen poca progesterona (Chemineau *et al.*, 1984).

La actividad reproductiva es manifestada al inicio de la pubertad y está estrechamente relacionada con el peso vivo y/o el estado metabólico y se presenta a edades muy variables (Meza-Herrera *et al.*, 2008; 2010a, 2010b). Las hembras puberales presentan estros con ovulaciones cuando alcanzan del 45 al 65% de su peso adulto. En las razas Saanen y Alpina se tiene un peso de referencia que es de 31 a 32 kg y en la raza Angora, de 25 a 26 kg (Cueto *et al.*, 2000). Después de observados los estros, se puede determinar una ovulación utilizando un laparoscopio para ver los cuerpos lúteos (Thimonier y Mauleon, 1969) y poder determinar el momento de la ovulación en base a su tamaño y color (Oldham y Lindsay, 1980). La técnica laparoscópica permite detectar de forma rápida a las cabras que están ciclando; además de la tasa ovulatoria y falsos estros (hembras marcadas por los machos sin estar en celo) (Cueto *et al.*, 2000).

Aspectos Reproductivos del Macho Caprino

Al igual que las hembras, los machos de la especie caprina también son influenciados por el fotoperiodo y por factores ambientales; además, presentan reposo sexual cuando las hembras están en anestro reproductivo (Carrillo *et al.*, 2010). La actividad sexual del macho caprino depende de los niveles sanguíneos de testosterona, la cual se incrementan de manera considerable a mitad del otoño, decreciendo a partir del invierno. Los niveles más bajos de testosterona son registrados durante la primavera y el comienzo del verano con algunos picos esporádicos de baja amplitud. La testosterona y la actividad sexual tienen una relación positiva en el macho (Cueto *et al.*, 2000).

Estacionalidad Reproductiva

El fotoperiodo es un fenómeno natural y constante que, la especie caprina ha incorporado como un proceso de sincronización reproductivo (Cueto *et al.*, 2000). Las hembras de la especie caprina incrementan su receptividad sexual en la época en la que las horas de luz se disminuyen. Las razas especializadas en la producción de leche que habitan en la región centro de Europa (Toggenburg, Alpina y Saanen) presentan una marcada temporada de actividad sexual: la mayoría de los celos se presentan en otoño y los últimos, en invierno (Meza-Herrera *et al.*, 2014b). En primavera se presentan estros, pero son de baja fertilidad (Rosales-Nieto *et al.*, 2011). Por otra parte, las razas de ascendencia africana, como la Nubia, presentan una actividad reproductiva más prolongada (Cueto *et al.*, 2000).

En los machos de las razas Saanen y Alpina, se demostró que al alternar dos meses de días largos (16 h luz/día) y dos meses de días cortos (8 h luz/día), la actividad sexual se

incrementa durante los días cortos y se inhibe durante los días largos (Delgadillo *et al.*, 1991; Delgadillo *et al.*, 1999). En la Comarca Lagunera, la actividad sexual de los machos se puede estimular al exponerlos a 2.5 meses de días largos a partir del 1 de noviembre al 15 de enero (16 h luz/8 h oscuridad). De esta manera se estimula la liberación de testosterona, la cual a su vez estimula el comportamiento sexual aunado al efecto que provoca el olor y las vocalizaciones durante el reposo sexual natural de los meses marzo y abril (Delgadillo *et al.*, 2002; Bedos *et al.*, 2012).

Nutrición y su Relación con la Reproducción

El estado nutricional del animal es un modulador clave de los mecanismos neuroendocrinos que regulan la secreción de GnRH. Por ello, la restricción nutricional causa crecimiento lento, reduce las concentraciones periféricas de glucosa y retarda el inicio de pulsos de GnRH en ovinos (Foster y Nagatani, 1999). Como resultado de la disminución en la secreción hipotalámica de LH, el consumo inadecuado de energía inhibe la función ovárica, en donde tienen una función importante ciertos metabolitos, como la glucosa y los aminoácidos, además de hormonas como la leptina, insulina e IGF (Pinos y Sánchez, 2001). El estado nutricional está estrechamente relacionado con la función del eje HHG. Por lo tanto, existe una relación clara entre el balance de energía, la cantidad de combustible metabólico, como glucosa, piruvato y lactato, y la eficiencia reproductiva. De esta manera, los cambios en los niveles circulantes de hormonas metabólicas o metabolitos son señales importantes que informan al SNC respecto al estado nutricional del organismo y la capacidad de reproducirse de manera eficiente (Meza-Herrera y Tena-Seampere, 2012). La función cíclica

o estacional del eje HHG es modulada mediante entradas neuronales, también reguladas por vías ambientales, que en última instancia modulan la actividad neuronal en el hipotálamo para promover la liberación de GnRH, y que también tienen un impacto en la homeostasis energética (Meza-Herrera, 2012). Además de algunas hormonas como la hormona luteinizante (LH) (Meza-Herrera *et al.*, 2007a, 2013b); triyodotironina (Meza-Herrera *et al.*, 2011b, 2014d), insulina (Meza-Herrera *et al.*, 2011a, 2013a) y factor de crecimiento insulínico (IGF) (Pinos y Sánchez, 2001; Meza-Herrera y Tena-Seampere, 2012). Al evaluar las funciones de las señales fotoperiódicas y nutricionales que modulan la actividad ovárica en cabras, se ha observado que la señalización del estado nutricional sobre la actividad reproductiva en cabras criollas, criadas en condiciones subtropicales, supera los efectos inhibidores de un fotoperiodo de días largos durante la temporada no reproductiva, ya que un alto porcentaje de cabras con alto nivel de alimentación en comparación con cabras sometidas a niveles bajos de alimentación, con respecto a las necesidades de mantenimiento, presentan ciclos reproductivos (estros), lo cual confirma que la actividad reproductiva puede estar estimulada por la nutrición (Urrutia *et al.*, 2009). Además de su elevada capacidad para modular los sistemas hormonales, las señales nutricionales también son reguladoras directas de la reproducción estacional. Por lo tanto, el suministro nutricional se considera una alternativa a los tratamientos hormonales con el fin de aumentar la eficiencia reproductiva y mejorar los resultados en la producción. Ciertamente, los efectos positivos de la nutrición sobre los rendimientos reproductivos se obtienen generalmente a través de aumentos en el peso corporal.

A largo plazo el "efecto estático" promueve que las hembras con más peso corporal tengan mayores tasas de ovulación, mientras que a mediano plazo, el "efecto dinámico" origina aumentos en el peso vivo (PV) o condición corporal (CC) en semanas previas y durante el

empadre promoviendo mayor eficiencia ovárica, mediante una elevada alimentación durante 3-4 semanas antes del apareamiento (Tena-Seampere, 2012).

Sin embargo, la eficiencia reproductiva también puede ser mejorada por medio de la administración de suplementos nutricionales en un tiempo muy corto, es decir, menos de diez días, sin cambiar el peso corporal. Este fenómeno se conoce como "efecto agudo" o "alimentación focalizada". Dicha estrategia nutricional consiste en una suplementación durante 4-6 días cercanos al momento del desarrollo del folículo preovulatorio, lo que aumenta la tasa de ovulación en un 20-30%, sin cambios detectables ya sea en el peso y(o) la condición corporal (Meza-Herrera y Tena-Seampere, 2012).

Efecto Macho

Se denomina “efecto macho” al efecto que provoca la presencia de los machos sobre la inducción de la actividad sexual en las cabras a principios de la estación reproductiva y en el anestro superficial, siempre y cuando las hembras hayan estado aisladas de los machos durante un período no menor a un mes. Ciertamente, el efecto macho parece estar modulado por el nivel nutricional de machos y/o hembras. El efecto socio-sexual que provocan los machos en las hembras (efecto macho) no se debe sólo a la estimulación feromonal que proviene del macho, ya que para que dicho efecto se exprese con toda su intensidad, es necesario el contacto físico entre macho y hembra (Walkden *et al.*, 1993b). De acuerdo con varios autores una suplementación alimenticia puede incrementar la respuesta ovárica al efecto macho (Flores-Nájera *et al.*, 2010 y Meza-Herrera *et al.*, 2014a). En casos donde se busca ofrecer alternativas para la estacionalidad en la producción de crías se han propuesto

una serie de protocolos que ponen en práctica técnicas de sincronización e inducción al estro puesto que en conjunto los tratamientos hormonales con las señales socio-sexuales pueden efectivamente inducir mediante señales cognitivas la actividad estral fértil en cabras (Angel-García *et al.*, 2015a, b). Existen reportes en que tanto hembras estrogenizadas como machos tratados con testosterona fueron capaces de inducir el comportamiento reproductivo, lo cual denota un efecto hembra-hembras y macho-hembra (Carrillo *et al.*, 2014; Rodríguez-Martínez *et al.*, 2013). Para el caso de efecto macho durante dos días en temporada de anestro provocó una respuesta estral positiva en 86.6 % de los casos. Derivado de la monta se obtuvo una tasa de preñez de 83 % (Angel-García *et al.*, 2015a).

A nivel hormonal, la presencia del macho aumenta la actividad de la hipófisis anterior de las hembras. Esto provoca una elevación de la frecuencia y un aumento de la amplitud de la secreción pulsátil de la hormona luteinizante (LH). Esta última actúa sobre el ovario estimulando el crecimiento folicular y consecuentemente provoca un aumento de la secreción estrogénica que va a determinar la secreción del pico preovulatorio de LH y por consiguiente la ovulación (López, 1980).

Efecto Hembra

Hembras que se encuentran en estro reproductivo son capaces de estimular una respuesta ovulatoria en otras hembras que se encuentran en anestro sin la necesidad de contar con la presencia de un macho (Walkden-Brown *et al.*, 1993; Rodríguez-Martínez *et al.*, 2013; Carrillo *et al.*, 2014). Además, se ha reportado que, la introducción de hembras en estro es capaz de estimular la ovulación en proporciones semejantes a las que se manifiestan con el efecto macho.

Latencia del Estro

El estro en cabras dura en promedio de 24 a 48 horas y se puede identificar por hiperactividad, búsqueda del macho, movimiento de la cola, frecuente micción; la vulva se edematiza y se enrojece; además, la hembra presenta inmovilidad frente al macho. Cuando se presenta la ovulación, se descarga un mucus de color blanquecino cremoso mismo que es trasparente al inicio del estro. Las montas entre hembras no son tan frecuentes en la hembra caprina como en la vaca, pero sí se presentan. La ovulación ocurre de 30 a 42 horas después del inicio del estro. Para detectar la presencia de estros, en campo, se utilizan machos vasectomizados con un arnés marcador; en el corral se pueden utilizar machos enteros con un delantal que impide la penetración: las hembras que aceptan al macho están en estro (Cueto *et al.*, 2000).

Tasa Ovulatoria

El fenómeno de la ovulación ha sido estudiado desde hace muchos años y ha sido atribuido principalmente a dos hormonas: la folículo estimulante (FSH) y la hormona luteinizante (LH) (Karsh, 1984; Goodman, 1988). En forma indirecta también están involucrados los estrógenos y la progesterona (Downey, 1980; Bindon y Piper, 1984). El estudio de la tasa ovulatoria (TO) es importante desde el punto de vista reproductivo y económico, ya que en las ovejas jóvenes el menor tamaño de camada se debe a que su TO es baja, la cual se incrementa con la edad (Rojas, 1990). La tasa ovulatoria también es

modificada por efectos de la suplementación nutricional (Meza-Herrera y Tena-Seampere, 2012; Meza-Herrera et al., 2013a, 2013b, 2014c).

Efecto Fotoperiodo

Los tratamientos fotoperiódicos se han desarrollado y experimentado para inducir la actividad sexual del caprino durante el anestro reproductivo en razas estacionales originarias de las latitudes medias y altas, como por ejemplo la cabra Alpina Francesa. Estos tratamientos se llevan a cabo al alternar los días largos (o crecientes) y los días cortos (o decrecientes), ya que no existe ningún fotoperiodo constante que permita mantener una actividad sexual permanente. Dependiendo de las circunstancias, los días largos pueden ser reales (luz artificial o natural), por ejemplo, 16 horas de luz diarias, adicionados con 1 o 2 horas de luz artificial proporcionando entre 15 y 18 horas después del atardecer que es fijado artificialmente. Por otro lado, los días cortos o decrecientes, pueden ser artificiales (en edificios oscuros) o también se pueden emular mediante la administración de melatonina (Chemineau *et. al.*, 1993).

Efecto Hormonal

El estro y la ovulación pueden inducirse mediante la utilización de hormonas como los progestágenos, eCG, estradiol, hCG, GnRH ya sea inyectas directamente en el animal y/o mediante esponjas intravaginales; sin embargo, el porcentaje de cabras, que son inducidas al estro y a la ovulación es muy variable (Alvarado-Espino et al., 2016; Gonzalez-Alvarez et

al., 2016; Contrerars-Villarreal et al., 2016). Al respecto se ha reportado que, en cabras de raza Angora durante la época de anestro reproductivo, sólo el 13% de las hembras ovulan cuando se utilizan esponjas vaginales con 45 mg de FGA, mientras que el 90% de éstas ovulan cuando reciben las mismas esponjas, más PMSG (Ritar *et al.*, 1984). En cabras Alpinas que fueron tratadas sólo con esponjas vaginales (45 mg de FGA), durante la época de anestro, ninguna presentó celo; por otro lado, el 100% de las que fueron tratadas con esponjas y hormonas gonadotrópicas entraron en celo (Tamanini *et al.*, 1985). En cabras Boer tratadas con esponjas vaginales (60 mg de MAP) 53% presentan celo, comparadas con el 100% de las que son inyectadas con PMSG (Greylling y Van Niekerk, 1991).

La ovulación puede ser provocada mediante la estimulación del pico preovulatorio de LH con PMSG, con una asociación de PMSG y GnRH o con la HMG (Tamanini *et al.*, 1985). La PMSG provoca un pico importante de estradiol, induce la aparición del estro, el pico preovulatorio de LH y la ovulación (Chemineau *et al.*, 1982; Pelleiter *et al.*, 1982; González-Stagnaro *et al.*, 1984; Tamanini *et al.*, 1985). La asociación PMSG-GnRH provoca un pico de estradiol aún más importante que la aplicación de PMSG por si sola. Por otro lado, la respuesta estrogénica a la inyección de HMG es mucho más pequeña que la que se tiene con la PMSG (Tamanini *et al.*, 1985).

Efecto Nutricional

La mejora de la tasa ovulatoria y reproductiva que es realizada a través de la suplementación nutricional, puede lograrse mediante el aumento en el peso vivo y la condición corporal (Meza-Herrera *et al.*, 2014a, 2014b, 2014c, 2017). Al respecto se han

propuesto tres efectos de la nutrición sobre la función reproductiva: a) efecto estático, que se logra a largo plazo mediante hembras más pesadas; b) efecto dinámico, generado con una mayor alimentación durante 3-4 semanas (Scaramuzzi *et al.*, 2006); y c) efecto agudo, generado sin la promoción de cambios en el peso vivo de la hembra, también denominado efecto inmediato mediante el suministro de suplementos nutricionales por <10 días (Martín *et al.*, 2004).

Suplementación y su Relación con el Comportamiento Animal

Un costo energético es atribuido a los componentes fisiológicos y conductuales del proceso reproductivo. Ya que, en caprinos y ovinos que han sido criados con bajos niveles de nutrición se han observado bajos niveles reproductivos (Lindsay *et al.*, 1993). El rendimiento reproductivo de caprinos y ovinos se puede mejorar por medio de periodos cortos y específicos de alimentación: “suplementación estratégica” (Martín *et al.*, 2004). La suplementación alimenticia estratégica se enfoca en los mecanismos subyacentes que han evolucionado para permitir que las cabras y las ovejas se reproduzcan en ambientes cambiantes (Blache y Martin, 2009).

Alimentación y Suplementación con Nopal

Existen evidencias de que, el nopal (*Opuntia spp*) junto con el maíz (*Zea mays*), el frijol (*Phaseolus vulgaris*) y el maguey (*Agave americana*) fueron un alimento fundamental para los grupos chichimecas del centro y norte del país. Por otro lado, el nopal ha sido

utilizado como alimento para vacas, borregas y cabras desde el año 1541, año en que las primeras cabezas de ganado fueron traídas de España y que pastaban en los agostaderos del estado de Tlaxcala (González – Bulnes *et al*, 2006).

En México, algunas especies de nopal forrajero (*Opuntia rastrera*, *O. lindheimeri*, *O. Cantabrigiensis*, *O. leucotricha*, *O. azurea*, *O. robusta* y *O. streptacantha*) se han utilizado como un alimento económico y asequible para el ganado. El uso del nopal como forraje se acentúa particularmente en las épocas en las que el pasto es escaso; sin embargo, su nivel de proteína es muy bajo por lo que es necesario enriquecerlo para que pueda ser usado como un suplemento proteico para el ganado (De la Rosa y Santana 2000; López *et al.*, 2001; Aranda *et al.*, 2009). Además, se ha demostrado que la suplementación con *Opuntia* incrementa la producción de leche y mejora la calidad de la mantequilla en términos de consistencia, vida de anaquel y proporciona un color atractivo (dorado) al producto final.

Por otra parte, Aranda *et al.* (2008) usaron *Opuntia* para disminuir los costos de producción de carne en ganado ovino. Los resultados que obtuvieron fueron exitosos, ya que lograron una disminución de costos de entre 48 y 65%. Los investigadores incluyeron *Opuntia*, en la dieta de los animales, en proporciones que variaron de entre 15 y 30% en base seca. El nopal usado en dicho estudio fue ofrecido en fresco y sometido a un proceso de picado, previo a su utilización en la dieta de los ovinos. En el mismo sentido, Flores y Aguirre (1992) mencionan que, el consumo de agua en borregos disminuye cuando se suplementa con nopal; representando el agua suministrada por el nopal un 99, 77 y 12% al suministrarlo fresco, semiseco y seco, respectivamente. De la misma manera ocurrió en bovinos, sin embargo, los caprinos y los ovinos son mucho más eficientes para cumplir sus requerimientos

de agua a partir del nopal; ya que, consumen mayor cantidad de alimento en relación a su peso vivo y sus excretas contienen mayor cantidad de materia seca.

Por otro lado, se ha propuesto que la suplementación con *Opuntia* promueve beneficios en la salud humana (Alimi *et al.*, 2010; Valente *et al.*, 2010). Esto debido a que se ha reportado que, el *Opuntia* posee propiedades antioxidantes, antiinflamatorias y efectos beneficiosos sobre el metabolismo de lípidos y glucosa; ya que, esta cactácea tiene, de manera natural, un alto contenido de polifenoles (Butera *et al.*, 2002; Kuti, 2004). Lo que puede generar posibles beneficios en el tratamiento contra trastornos metabólicos tales como la diabetes y la obesidad (El-Mostafa *et al.*, 2014).

Enriquecimiento dirigido del Nopal

En Cuba, la fermentación dirigida a ingredientes de alta digestibilidad como la melaza, pulpa de cítricos y subproductos frutales ha sido utilizada durante muchos años (Elias y Lezcano, 1993; Elías, 2007). En la última década, esta tecnología fue adoptada y adaptada en México para la utilización de productos, como el nopal, con bajo contenido proteico, pero la tecnología que fue propuesta para su aplicación por investigadores brasileños y mexicanos, dicha tecnología involucraba un proceso muy laborioso y de alto costo ya que se requería deshidratar y moler el nopal previo a la fermentación, por lo que no resultaba viable su aplicación para los pequeños y medianos productores (Aranda, 2006).

Sin embargo, recientemente, (Flores - Hernández *et al.* 2017) han implementado el proceso de enriquecimiento proteico mediante la fermentación semisólida utilizando una máquina cortadora y mezcladora de nopal, sin la necesidad de una deshidratación previa.

Esto mediante la utilización de la levadura *Sacharomyces cereviceae* (1%) y una fuente de nutrientes (urea al 0.5% y sulfato de amonio al 0.05%). En condiciones naturales el valor promedio de proteína total del nopal es de 4% pero, mediante el proceso de fermentación semi sólida, el nivel de proteína total del nopal hasta en un 30%.

Por su parte, Cabrera-Baeza *et al.* (2015) implementaron un sistema de fermentación sólido utilizando nopal forrajero (*Opuntia ficus indica*) y a través del crecimiento aeróbico de levaduras (*Saccharomyces cereviciae*). Estos inocularon el nopal molido con 0, 0.25, 0.5 y 1% de levadura seca de panadería en recipientes de 1.5 kg de capacidad por triplicado. A las 0, 6, 12, 18, 24, 30 y 36 horas de fermentación el material se agitó durante 5 segundos. El mayor porcentaje de PC (63%) fue obtenido con el 1% de levadura y a las 36 h de fermentación. También, adicionaron urea como fuente de nitrógeno al 0, 0.5, 1 y 1.5%. El mayor porcentaje de PC (500%) fue obtenido con el 1.5% de urea y, el tiempo óptimo de fermentación donde se alcanzó el 55% de PC en base seca, fue a las 3 horas.

Perfil Metabólico

El análisis del perfil metabólico (PM) es usado como instrumento paraclínico. Éste permite estudiar trastornos metabólicos y evaluar el balance nutricional del organismo (Bücher-Bernales, 1998; Cedeño *et al.*, 2011). También, se emplea en el diagnóstico de enfermedades en la producción (Bedoya *et al.*, 2012). El PM permite, en los animales, determinar las concentraciones de algunos compuestos orgánicos que son indicadores del balance de ciertas vías metabólicas; así mismo, permiten comparar los resultados con los valores de referencia de la media poblacional (Álvarez y Jorge, 2001; Bedoya *et al.*, 2012).

En los rumiantes, el PM puede usarse para llevar un seguimiento de la adaptación metabólica y para diagnosticar desequilibrios metabólico-nutricionales (Brito *et al.*, 2006; Batista, 2007) o su posible acción respecto al comportamiento reproductivo (Meza-Herrera y Tena-Sempere, 2012; Meza-Herrera *et al.*, 2014b; 2017).

La cuantificación de los metabolitos sanguíneos, a través del PM, no representa un método de trabajo muy estricto; ya que, el número de indicadores que lo componen puede ser seleccionado por el investigador en función del problema que se desea abordar. Los metabolitos seleccionados deben tener una concentración estable en el torrente sanguíneo para que puedan arrojar datos confiables. Además, debe haber un fundamento fisiológico para interpretar los datos en caso de obtener concentraciones anormales (Álvarez y Jorge, 2001).

El estado metabólico de un animal debe ser estudiado utilizando constantes bioquímicas sanguíneas como: hemoglobina (Hb), volumen globular aglomerado (VGA), glucosa, betahidroxibutirato, urea, proteínas, globulinas, albúminas, calcio (Ca), fósforo inorgánico (Pi), magnesio (Mg), potasio (K), sodio (Na) y enzimas. Estas constantes bioquímicas son representantes de las principales vías metabólicas del organismo: la glucosa y las proteínas totales (PT) son los más importantes de las vías metabólicas en una producción. La glucosa representa el metabolismo energético y; la urea, la hemoglobina y la albúmina representan el metabolismo proteico (Ceballos *et al.*, 2002; Oblitas, 2008).

Glucosa

La glucosa es una hexosa, una molécula que contiene seis carbonos en su estructura, y es la principal fuente de energía en el organismo de todo ser vivo, almacenada principalmente en el hígado en forma de glucógeno. Por lo tanto, el control preciso del consumo de energía, almacenamiento y transporte de glucosa es indispensable para mantener cada uno de los procesos en las diferentes etapas, tanto de crecimiento como reproductivas y mantener las concentraciones plasmáticas dentro de los rangos fisiológicos normales (Jordán *et al.*, 2010).

Varios tejidos, especialmente el cerebro y las gónadas, dependen del suministro de glucosa como una fuente directa de energía. Por esta razón, es de vital importancia mantener las concentraciones de glucosa en sangre por encima de un umbral crítico (Meza-Herrera y Tena-Seampere 2012). En este sentido, el glucógeno hepático es un importante reservorio de glucosa que puede ser utilizado para mantener el nivel normal de glucosa en la sangre durante un periodo de ayuno de corto plazo. Sin embargo, se agota fácilmente y, por lo tanto, son necesarias otras fuentes de glucosa en ciertas condiciones metabólicas.

Las proteínas pueden ser fácilmente convertidas en glucosa a través de la gluconeogénesis. Una vez que las reservas de glucógeno se agotan, el catabolismo de proteínas y la génesis de glucosa a partir de los aminoácidos se convierten en el principal medio para satisfacer las necesidades energéticas de los tejidos dependientes de glucosa (Meza-Herrera y Tena-Seampere, 2012).

El estado nutricional está influenciado no solo por la comunicación de los sustratos, sino también por señales de diversas hormonas metabólicas como insulina, leptina y ghrelina, que

se incorporan en los circuitos neuronales del hipotálamo e indican el aumento de la glucosa y lípidos. Por lo tanto, los nutrientes son la fuente que regula la actividad de la ingesta de alimentos, el gasto energético y la homeostasis de la glucosa (Jordán *et al.*, 2010).

Esencialmente, hay dos tipos de neuronas sensibles a la glucosa que pueden controlar los cambios en los niveles de glucosa en la sangre: la neurona glucosa-estimuladora (GE), cuya tasa de activación se ve aumentada por la elevación de las concentraciones de glucosa extracelular, y las neuronas glucosa-inhedoras (GI), que se activan cuando las concentraciones de glucosa disminuyen. Ambos tipos de neuronas se encuentran ampliamente distribuidas en todo el cerebro, pero una alta concentración de éstas se localiza en los núcleos del hipotálamo, que están involucrados no solo en el control de la homeostasis energética, sino en forma interesante, también involucradas en la función reproductiva (Levin, 2001).

Papel de la Glucosa en la Reproducción

Existe una fuerte evidencia de que la disponibilidad de glucosa puede ser un regulador de la secreción de LH en ovejas, se han estudios en los que se les suministraron antagonistas de glucosa para evaluar la disminución de la amplitud y frecuencia del pulso de LH, en dichos se concluyó que la disponibilidad de glucosa afecta la secreción de LH al actuar directamente en el SNC en sitios periféricos de la neurona de GnRH (Bucholtz *et al.*, 1996).

Como se mencionó previamente, la glucosa entra en la célula mediante la acción de los transportadores, un grupo de proteínas que se encuentran en la membrana de ésta; dependiendo

del órgano donde la glucosa efectuó su función habrá diferentes transportadores, entre los más importantes para la reproducción están los GLUT1 y GLUT4 (Zhou *et al.*, 2000).

El transportador GLUT1 brinda captación basal de glucosa en la mayoría de los tejidos; mientras que el GLUT4 es particularmente sensible a la insulina en el tejido muscular y adiposo. Estos dos transportadores se han observado en las células de la teca y granulosa en el folículo ovárico. Cuando la glucosa se absorbe, puede afectar la función folicular por medio de dos mecanismos interrelacionados. El primero es mediante cambios en la disponibilidad de energía que alteran la bioquímica endocrina y, por lo tanto, estimulan la esteroidogénesis en las células del folículo. Un segundo mecanismo de acción sucede cuando se altera la capacidad androgénica debido a la modificación de la expresión y función de los transportadores de la glucosa en los tejidos ováricos. Por último, una tercera posibilidad considera una combinación de las anteriores, es decir un aumento en la absorción de glucosa altera la capacidad esteroidogénica que, a su vez, afecta la expresión y la función de los transportadores de glucosa (Williams *et al.*, 2001).

Otra función de la glucosa sobre la reproducción recae en la regulación metabólica del hipotálamo. Un estudio realizado en cabras ovariectomizadas tratadas con estradiol e inducidas a hipoglucemia por medio de la aplicación de insulina y un antagonista de la glucosa, suprimió la actividad del pulso generador hipotalámico de GnRH; estos hallazgos sugieren que la disponibilidad de glucosa es uno de los reguladores metabólicos del generador de pulsos de GnRH y desempeña un papel clave en el control nutricional de la reproducción en especies de rumiantes (Ohkura *et al.*, 2004).

Colesterol

El colesterol es el tercer tipo de lípido en importancia cuantitativa en las membranas de las células animales, donde contribuye a la interacciones con ciertas proteínas El colesterol es un precursor biosintético de las hormonas esteroideas, de la vitamina D y de los ácidos biliares. Abunda como tal en la bilis y en las lipoproteínas plasmáticas; asimismo, se encuentra tanto libre como esterificado con ácidos grasos de cadena larga. Por todo esto, el colesterol es una molécula esencial en el organismo, aunque no un nutriente esencial (Burger *et al.*, 2000). Además el colesterol es precursor de hormonas esteroideas (Hu *et al.*, 2010), de los ácidos y sales biliares, y modificador covalentemente de algunas proteínas (Martínez *et al.*, 2001).

MATERIALES Y METODOS

Localización del área experimental

El estudio se llevó a cabo en una granja comercial de cría caprina en la localidad Seis de Enero ubicada en el Municipio de Lerdo, Durango (25° 31' 11'' LN y 103° 36' 09'' LO; y a una altura de 1,148 msnm). Las condiciones ambientales son de un clima muy seco, semi-cálido (BW(h)w´´). La temporada de lluvias se presenta en los meses de junio, julio y agosto. Su precipitación media anual es de 253 mm. La temperatura media anual es de 20°C con una

mínima mensual de 12°C y una máxima que llega a superar los 30°C (García, 2004). El tipo de vegetación que predomina es de matorrales xerófilos (*Ambrosia*, *Artemisa*, *Enclia*, *Eupatorium*, *Flourensia*, entre otros), presentándose también leguminosas (*Prosopis*), gramíneas (*Bouteloa*, *Sporobolus*, *Hilaria*, *Muhlenbergia*, entre otras) y cactáceas (*Opuntia*) (Rzedowski, 2006).

Animales y Diseño de Tratamientos

Cabras adultas (Alpina-Saanen-Nubia x Criollo; n=45) no preñadas, no lactantes, en anestro reproductivo, con peso vivo (PV) y condición corporal (CC) homogénea fueron mantenidas durante el día en los pastizales. A partir del 15 de febrero, las hembras fueron separadas de los machos para eliminar cualquier contacto visual, sonoro u olfativo. Posteriormente, el 20 de abril durante la mitad de la temporada de anestro, las cabras fueron divididas aleatoriamente en tres grupos experimentales homogéneos, en cuanto con peso vivo (PV; 40-43 kg) y condición corporal (CC; 1.8-2.0 kg) homogéneas: 1). Control (CONT; n=15; 42.14±1.58 PV), 2). *Opuntia* Normal (ONE; n=15; 43.93±1.58 kg de PV) y 3). *Opuntia* Enriquecido (OPE; n=15; 44.58±1.58 kg de PV). Tanto las cabras ONE y OPE fueron suplementadas individualmente con 160 g de opuntia normal por día durante un período de adaptación de 10 días (20 al 30 de abril). Previo al estudio las cabras fueron manejadas en forma homogénea y pastaron en el mismo lugar previamente descrito. Las unidades experimentales tuvieron libre acceso a agua y a una mezcla de minerales comerciales en el corral, durante las horas de la tarde-noche. Las cabras fueron tratadas contra parásitos internos y externos antes del comienzo del experimento.

Suplementos Experimentales y Horario de Suplementación

El grupo experimental OPE consideró el enriquecimiento proteico de cladodios por medio de un proceso fermentativo semisólido mediante la mezcla de pequeñas rebanadas de pencas de *Opuntia* inoculadas con *Saccharomyces cerevisiae* (1%), urea (1%) y sulfato de amonio (0.1%) en un biorreactor (NOPAFER - Registro No. 2641 IMPI) durante un período de 10 h. A partir de entonces, los cladodios enriquecidos fueron semi-secados a temperatura ambiente durante 72 h. Se realizó un análisis bromatológico del nopal natural (tanto fresco como seco) y enriquecido proteicamente (tanto fresco como seco) en el laboratorio AGRO LAB MÉXICO, S.A. DE C.V. ubicado en la ciudad de Gómez Palacio, Dgo. La suplementación de los grupos ONE y OPE fue de 09:00 a 10:00 h antes de su actividad de recorrido durante un período de ajuste de 10 días.

Los tres grupos experimentales se mantuvieron juntos durante el día en un pastizal semiárido y fueron colocados en diferentes corrales por la tarde - noche. Después del periodo de adaptación, las cabras de los grupos ONE y OPE recibieron la suplementación en el mismo horario de suplementación durante un período de 41 días (1 de mayo al 10 de junio). Previo al inicio del empadre experimental todas las cabras fueron sujetas a un escaneo ultrasonográfico los días: 05, 10 y 15 de mayo para confirmar el estado de anestro reproductivo, posteriormente el día 10 de junio para cuantificar tasa ovulatoria. Además, tres días antes de la introducción de los machos, las cabras de los tres tratamientos fueron tratadas con una inyección intramuscular de progesterona (20 mg; Fort Dodge, DF, México) con la finalidad de reducir la ocurrencia de ciclos lúteos cortos.

Cuadro 1. Composición química media base-seca y fresca, de cladodios de *Opuntia megacantha* Salm-Dyck enriquecidos en su contenido proteico (OPE), así como no enriquecidos (ONE) y (CONT) ofrecidos como suplemento a cabras adultas de raza mixta (Alpina-Saanen-Nubia x Criollo) expuestas a machos tratados con testosterona en la época de anestro reproductivo (mayo-junio) bajo condiciones de pastizal semiárido-subtropical en el norte de México (25° LN).

| | OPE fresco | OPE seco | ONE fresco | ONE seco |
|------------------|------------|----------|------------|----------|
| MS (%) | 12.5 | 92.06 | 12.9 | 92.09 |
| PC (%) | 29.8 | 20.56 | 6.44 | 4.9 |
| FND (%) | 18.3 | 17.52 | 21.34 | 14.7 |
| FAD (%) | 16.6 | 17.98 | 19.70 | 11.90 |
| CNF (%) | 24.4 | 33.91 | 43.85 | 53.3 |
| TND (%) | 57.2 | 56.41 | 53.15 | 61.0 |
| ENm (Mcal/kg MS) | 2.27 | 2.21 | 1.88 | 2.31 |
| Ceniza (%) | 25.5 | 26.78 | 27.99 | 24.7 |

ENm fue calculado mediante ecuaciones consideradas por el National Research Council (NRC, 2007).

Manejo de los Machos: “ Efecto Macho”

Las cabras de los tres tratamientos fueron expuestas a seis machos adultos durante 10 días (del 20 al 30 de mayo); machos Alpina-Saanen sexualmente experimentados de 3 a 4 años de edad, de libido y fertilidad probadas. Antes del empadre los machos se mantuvieron encerrados en un corral con piso de cemento (6 x 6 m), ahí donde tuvieron agua, una mezcla mineral y heno de alfalfa, además de 500 g de un concentrado comercial (NRC, 2007). Previo del contacto con las hembras, todos los machos recibieron una inyección intramuscular de Testosterona (50 mg, testosterona, Lab Brovel, DF, México) cada 3 días durante 3 semanas

con la finalidad de inducirlos a un estado de actividad sexual (Luna-Orozco *et al.*, 2012). Los machos fueron mantenidos permanentemente en los corrales antes mencionados y estuvieron en contacto con las cabras desde 18:00 hasta 08:00 h todos los días en lo que se denomina empadre nocturno para posteriormente ser regresados a sus corrales durante el día.

Análisis Ultrasonográfico de la Función Ovárica

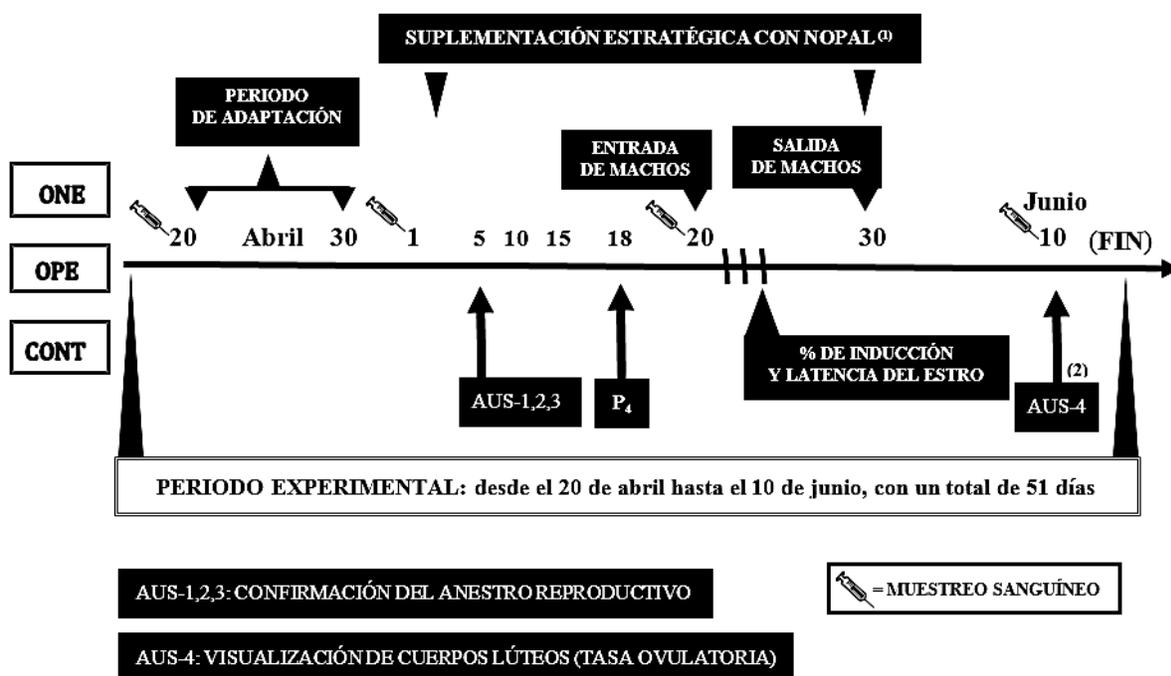
El periodo de empadre experimental inició el 20 de mayo y duró 10 días. La incidencia diaria de cabras que mostraron signos de estro se registró una vez definidos los comportamientos de inicio de la ovulación como resultado del efecto macho. El comportamiento estral se verificó durante una hora dos veces al día (08:00 y 19:00 h) durante el período de empadre (10 días). Los análisis ultrasonográficos (AUS) previos al empadre, así como el realizado después del empadre experimental fueron realizados por un operador experto. Los ovarios se visualizaron brevemente en una ampliación de la imagen de 1.5x en los tres grupos experimentales expuestos al efecto macho para cuantificar la tasa ovulatoria.

Muestreo Sanguíneo Intermitente: Metabolitos Sanguíneos

A partir del 20 de abril y hasta el 10 de junio, se realizó un muestreo intermitente de sanguíneo tomando 4 muestras sanguíneas por cabra, (Figura 2). Las muestras de sangre fueron colectadas mediante venopunción de la yugular con agujas estériles de 0.8x38 mm (Becton Dickinson & Co., Franklin Lakes, USA) y tubos colectores vacutainer de 10 ml (Corvac Sherwood Medical, St Louis, MO, USA). Las muestras se centrifugaron a 1,500 rpm

durante 15 min, posteriormente se colecto por duplicadon el suero sanguíneo en tubos de polipropileno y se almaceno a -4 °C hasta su analisis. Las muestras fueron analizadas mediante análisis espectrofotométricos (Coleman 15 Junior II). La concentración sérica de glucosa (GL) fue determinada mediante el kit 115-A basado en la oxidación de la glucosa, mientras que la concentración sérica de colesterol (Cl) fue cuantificada mediante el kit EnzyChrom™ (ECCH-22-100, Bioassay Systems, Hayward, CA; USA).

La medición de CC y PV se realizó el 1 de mayo (CC-inicial y PV-inicial), el 20 de mayo (PV-intermedio) y el 10 de junio (PV-final). Una representación esquemática con las principales actividades realizadas durante el protocolo experimental, (Figura 2).



(¹) Suplementación con nopal, 160 gr/cabra/día x 41 días
 (²) AUS= Análisis ultrasonográfico en ovario

Figura 2. Protocolo experimental de la suplementación dirigida con cladodios de *Opuntia megacantha* Salm-Dyck proteicamente enriquecidos (OPE), no enriquecidos (ONE) y grupo control no suplementado (TEST) en cabras adultas (Alpina-Saanen-Nubia x Criollo; n=45) expuestas a machos tratados con testosterona en condiciones extensivas en pastizal semiárido-subtropical en el norte de México (25° LN).

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El PV, la CC y las variables reproductivas (función ovárica) de las cabras fueron evaluados mediante un análisis de varianza (ANOVA) con un diseño completamente al azar, con un arreglo de parcelas divididas para muestras repetidas en el tiempo (Gill y Hafs, 1971). La actividad de la función ovárica consideró la inducción al estro (IE, medida en porcentaje), la latencia del estro (LE, medida en horas) y la tasa ovulatoria (TO, medida en unidades). El procedimiento MIXED (PROC MIXED) fue utilizado para evaluar las variables glucosa (GLU) y colesterol (COL) a través del tiempo. En el evento de un efecto significativo, la separación de medias consideró el procedimiento LSD, para probar sus diferencias mediante los procedimientos MEANS y GLM (PROC GLM) del SAS (SAS Institute Inc. V9.1 Cary, NC, EE.UU.) (Littell *et al.*, 1991). El nivel de significancia fue fijado a $P < 0.05$.

RESULTADOS

No existieron diferencias ($P > 0.05$) para el PV - inicial (ONE: 43.93 ± 1.58 kg; OPE: 44.58 ± 1.70 kg; CONT: 45.14 ± 1.58 kg), PV - intermedio (ONE: 43.56 ± 1.42 kg; OPE: 43.83 ± 1.53 kg; CONT: 45.67 ± 1.42 kg; $P > 0.12$) ni para el PV - final (ONE: 43.78 ± 1.70 kg; OPE: 44.50 ± 1.84 kg; CONT: 45.36 ± 1.70 kg; $P > 0.32$) a lo largo del periodo experimental. De igual manera ocurrió con la CC - inicial (ONE: 2.57 ± 0.13 kg; OPE: 2.58 ± 0.14 kg; CONT: 2.57 ± 0.13 kg) y con las concentraciones séricas de glucosa (ONE: 102.0 ± 8.05 mg dL; OPE: 98.12 ± 8.70 mg dL; CONT: 95.20 ± 8.05 mg dL; $P > 0.85$) y colesterol (ONE: 158.19 ± 7.61

mg dL; OPE: 165.15 \pm 8.22 mg dL; CONT: 156.15 \pm 7.61 mg dL; P>0.58) al no existir diferencias (P>0.05) entre tratamientos (Cuadro 2).

Sin embargo, respecto a la función ovárica, sí existieron diferencias (P<0.05) entre tratamientos tanto para LE, IE y TO. En el grupo de cabras que fue suplementado con nopal proteicamente enriquecido y expuesto al efecto macho, el 100% de las hembras fueron inducidas al estro. Por su parte el grupo suplementado con nopal natural y expuesto al efecto macho un 57% de las hembras fueron inducidas al estro y el grupo control no suplementado sólo el 43% de las hembras fueron inducidas al estro.

Con respecto a la latencia del estro, los grupos OPE y ONE mostraron un aumento en las horas de duración del estro (62 y 60 h, respectivamente), difiriendo (P<0.05) respecto al grupo control, quienes mostraron la menor latencia del estro con solo 32 h. Finalmente, la mayor tasa ovulatoria (P<0.05) fue observada en el grupo OPE (1.33), seguidas de los grupos ONE (0.71) y CONT (0.43); los resultados se concentran en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Medias mínimas de cuadrados con respecto a condición corporal inicial (CC), peso vivo (PV-inicial, PV-intermedio y PV-final), glucosa (GLU), colesterol (COL) y; parámetros reproductivos medidos mediante la inducción al estro (IE), la latencia del estro (LE) y la tasa ovulatoria (TO) en cabras adultas (Alpina-Saanen-Nubia x Criollo; n=45); grupos de cabras suplementadas con *Opuntia megacantha* Salm-Dyck; *Opuntia* ofrecido no enriquecido (ONE), proteicamente enriquecido (OPE) y grupo control (CON) no suplementado. Todas las cabras fueron expuestas a machos cabrios tratados con testosterona y a las variaciones naturales del fotoperiodo (de mayo a junio: época de anestro estacional) bajo condiciones de pastizal semiárido-subtropical en el norte de México (25° LN).

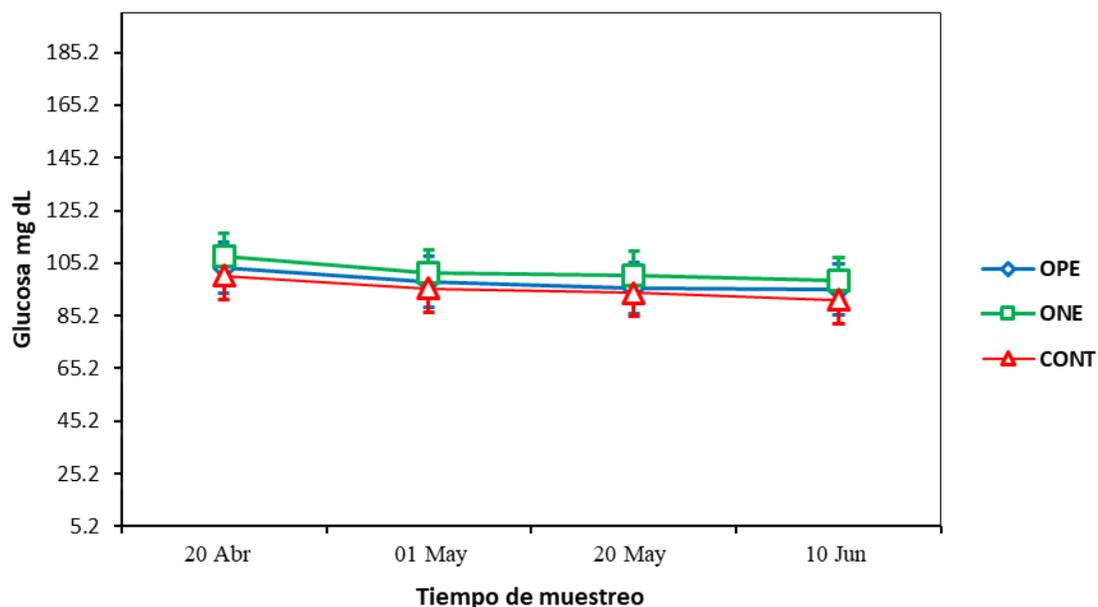
| Variables | OPE | ONE | CONT | EE |
|--|---------------------|---------------------|---------------------|------|
| CC - inicial (unidades) | 2.58 ^a | 2.57 ^a | 2.57 ^a | 0.14 |
| PV- inicial (kg) | 44.58 ^a | 43.93 ^a | 45.14 ^a | 1.70 |
| PV- intermedio (kg) | 43.83 ^a | 43.36 ^a | 45.67 ^a | 1.53 |
| PV - final (kg) | 44.50 ^a | 43.78 ^a | 45.36 ^a | 1.84 |
| GLU (mg dL) | 98.12 ^a | 102.01 ^a | 95.21 ^a | 8.7 |
| COL (mg dL) | 165.15 ^a | 158.19 ^a | 156.15 ^a | 8.22 |
| IE (%) | 100% ^a | 57% ^{ab} | 43% ^b | 0.18 |
| LE (h) | 62.00 ^a | 60.00 ^a | 32.00 ^b | 6.00 |
| TO (unidades) | 1.33 ^a | 0.71 ^{ab} | 0.43 ^b | 0.25 |

^{a,b}= Diferentes literales en la misma fila indican diferencias estadísticas significativas (P<0.05).

EE= Error estándar de medias mínimas de cuadrados más conservador. La escala de condición corporal es de 1 a 4 kg.

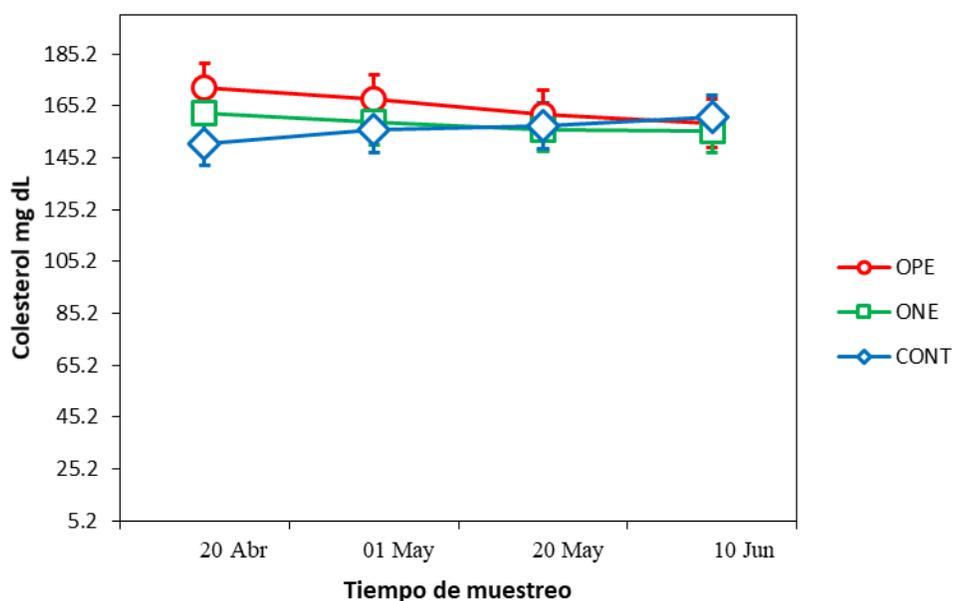
Los niveles séricos de glucosa no presentaron diferencias significativas (P>0.05) a través del tiempo. Las diferencias observadas, entre los tratamientos de las diferentes respuestas ováricas evaluadas, no pueden ser explicadas por la concentración sérica de glucosa. Al igual, es importante resaltar que, en las cabras suplementadas con nopal proteicamente enriquecido los niveles de glucosa en la sangre se mantuvieron durante los

ultimos tres muestreos; en el grupo ONE al igual que en el tratamiento del nopal proteicamente enriquecido se mantiene prácticamente similar aunque presenta un pequeño decremento a partir del segundo muestreo. Finalmente, en el CONT la glucosa mostro una tendencia a disminuir desde a partir del primer muestreos (Gráfica 1).



Gráfica 1. Concentraciones séricas de glucosa a través del tiempo de los tratamientos: suplementado con *Opuntia* proteicamente enriquecido (OPE), suplementado con *Opuntia* no enriquecido (ONE) y control (TEST) durante el periodo de abril a junio, en cabras anéstricas expuestas al efecto macho en pastizales marginales del norte de México (25° LN).

Los niveles séricos de colesterol en sangre no presentaron diferencias ($P>0.05$) entre tratamientos a través del tiempo. Los niveles se mantuvieron estables hasta el segundo muestreo en los tres tratamientos. Sin embargo, los niveles de colesterol del grupo de cabras suplementadas con *Opuntia* proteicamente enriquecido tuvo una tendencia a decrecer pero no así los otros en los otros grupos. En el grupo del nopal proteicamente la tendencia decreciente sugiere una retroalimentación negativa entre la glucosa y el colesterol para el grupo OPE. (Gráfica 2).



Gráfica 2. Concentraciones séricas de colesterol a través del tiempo de los tratamientos: suplementado con *Opuntia* proteicamente enriquecido (OPE), suplementado con *Opuntia* no enriquecido (ONE) y control (TEST) durante el periodo de abril a junio, en cabras anéstricas expuestas al efecto macho en pastizales marginales del norte de México (25° LN).

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en el presente estudio, no favorecen en su totalidad la hipótesis planteada al inicio del experimento, ya que la suplementación con nopal enriquecido incrementó el porcentaje de tasa ovulatoria, latencia del estro e inducción al estro en cabras anéstricas expuestas al efecto macho, pero no así en las cabras suplementadas con nopal no enriquecido y el grupo control. En cuanto a los niveles séricos de metabolitos, la hipótesis no es parcialmente aceptada, ya que paralelo a la suplementación con nopal fue

disminuyendo a través del tiempo del periodo del experimental. Así mismo no hay elementos para relacionar dicho comportamiento con diferencias en los niveles de glucosa y colesterol. Asimismo, no existieron diferencias entre tratamientos respecto a PV y CC, lo cual coincide con lo reportado por Meza-Herrera *et al.* (2017) quienes no encontraron diferencias significativas entre tratamientos en cabras suplementadas con nopal proteicamente enriquecido contra suplementadas con nopal natural o el grupo testigo.

De igual manera, en otros estudios en los que evaluaron la suplementación con nopal en cerdos Yorkshire x Landrace x Pietrain no reportaron diferencias significativas entre tratamientos en cuanto a GL ni CL (Gaitan-Lemus *et al.* 2017). Meza-Herrera *et al.* (2017) no reportaron diferencias significativas entre tratamientos en cuanto a la presencia de celo, lo cual concuerda con lo reportado por Sakly *et al.* (2014) y con Rekik *et al.* (2012). En el presente estudio, el porcentaje de inducción del estro difirió ($P < 0.05$) entre grupos experimentales ya que el 100% de las cabras suplementadas con nopal proteicamente enriquecido y expuestas al efecto macho mostraron presencia de estro; lo cual sugiere que la suplementación proteica con *Opuntia* potencializó al efecto macho en las cabras del grupo OPE respecto a los otros grupos experimentales. Scaramuzzi *et al.* (2014) reportaron una alta respuesta al efecto macho, no afectada por la suplementación con grano de lupino ni por la condición corporal, medida en el incremento de la concentración de LH.

Al respecto, es conveniente recordar que la suplementación nutricional altera el sistema de glucosa-insulina (Muñoz-Gutiérrez *et al.*, 2005; Scaramuzzi *et al.*, 2006), la leptina y los niveles de IGF-I (Gámez-Vázquez *et al.*, 2008; Guerra-García *et al.*, 2009; Muñoz-Gutiérrez *et al.*, 2005). En el presente estudio, también se observaron diferencias en las concentraciones

de glucosa a través del tiempo en favor del grupo que no fue suplementado, lo cual pudiera estar relacionado a la absorción mediada por el GLUT4, principalmente por los tejidos muscular y adiposo, además de que las células de la granulosa contienen este transportador de glucosa (Williams *et al.*, 2001; Nishimoto *et al.*, 2006), lo cual es potencialmente importante en la activación de esteroidogénesis folicular y la primo-ovulación.

Berlinguer *et al.* (2012) evaluó el efecto de la suplementación a corto plazo con sustratos glucogénicos en ovejas Sardas adultas, observando diferencias en las concentraciones de glucosa, en los días 10 y 11 del período experimental en el grupo tratado. En este sentido Gallet *et al.* (2011) describió que infusiones de corto plazo de glucosa incrementaron el número de folículos, lo cual sugiere que la glucosa estimula el crecimiento del folículo.

La ovulación ocurre debido a un incremento en el crecimiento del folículo, mediado por un aumento en la síntesis de estradiol en la fase de reclutamiento folicular (Chappel y Howles, 1991). Un incremento de estradiol en el reclutamiento fue reportado por Letelier *et al.*, (2008) debido a la administración de energía, lo cual coincide con los hallazgos reportados por Berlinguer *et al.*, (2012), quienes reportaron un incremento en las concentraciones de estradiol entre los días 9 y 11, en favor del grupo tratado. El estradiol es considerado un marcador fiable de la función folicular en ovejas (Campbell et al 1995.); una disminución en la secreción de estradiol folicular está relacionada con deficiencias en salud folicular y, por lo tanto, en la competencia de desarrollo del ovocito (Oussaid et al. 1999).

Con respecto al patrón de concentración de colesterol al través del tiempo en nuestro estudio, éste favoreció al grupo OPE, lo cual se relacionó positivamente con un mayor porcentaje de hembras mostrando la entrada al estro. Al respecto, existe evidencia de que las

concentraciones tanto de glucosa como de colesterol están estrechamente ligadas al estado metabólico así como a la activación de la función reproductiva. (Vázquez *et al.*, 2009).

En el presente estudio, las cabras del grupo tratado con nopal enriquecido lograron el mayor porcentaje de estros, paralelo a las concentraciones de colesterol total a través del tiempo sin diferencias para PV y CC con respecto al grupo control. Lo anterior sugiere que la suplementación con nopal enriquecido no solamente promovió la estimulación del eje hipotálamo-hipófisis-gónadas, sino que también pudo haber actuado sobre otros sistemas metabólicos involucrados en la modulación del metabolismo energético, particularmente aquellos relacionados a glucosa y lípidos.

CONCLUSIONES

La suplementación con nopal proteicamente enriquecido promovió un efecto positivo sobre la inducción al estro, la latencia del estro y la tasa ovulatoria en hembras anéstricas expuestas al efecto macho, sin diferencias entre tratamientos respecto a los niveles de glucosa, colesterol, peso vivo y condición corporal, por lo que probablemente otros metabolitos o moléculas están directamente relacionadas a dicho comportamiento reproductivo. Los resultados sugieren que la suplementación con nopal proteicamente enriquecido potenció la respuesta de las hembras anéstricas expuestas al efecto socio-sexual de los machos, ya que se obtuvo el mayor porcentaje de inducción al estro, más horas en estro y una mayor tasa ovulatoria.

LITERATURA CITADA

- Alimi, H., Hfaiedh, N., Bouoni, Z., Hfaiedh, M., Sakly, M., Zourgui, L. y Rhouma, K.B. (2010). Antioxidant and antiulcerogenic activities of *Opuntia ficus indica f. inermis* root extract in rats. *Phytomedicine*, 17, 1120-1126.
- Alvarado-Espino, A.S., C.A. Meza-Herrera, E. Carrillo, V.H. González-Álvarez, J.M. Guillen-Muñoz, O. Angel-García, M. Mellado, F.G. Veliz-Deras. 2016. Reproductive outcomes of Alpine goats primed with progesterone and treated with human chorionic gonadotropin during the anestrus-to-estrus transition season. *Animal Reproduction Science*. 167(4):133-138.
- Álvarez, R. L., Ducoing, A. E., Zarco, L. A. y Trujillo, A. M. (1999). Conducta estral, concentraciones de LH y función lútea en cabras en anestro estacional inducidas a ciclar mediante el contacto con cabras en estro. *Vet Méx.*, 30, 25-31.
- Álvarez, C. y Jorge, L. (2001). Bioquímica nutricional y metabólica del bovino en el trópico. Medellín: Universidad de Antioquia.
- Anaya P. M. A. y Bautista Z. R. (2008). El nopal forrajero en México: del siglo XVI al siglo XX. Agricultura, Sociedad y Desarrollo. pp. 167-183.
- Angel-Garcia, O., C.A. Meza-Herrera, V. Contreras-Villarreal, J.M. Guillen-Muñoz, C. Leyva, P.A. Robles-Trillo, R. Rivas-Muñoz, O., R. Rodriguez-Martinez, M. Mellado, F.G. Veliz. 2015. Effect of different male-to-female ratios and testosterone administration upon sexual behavior and the out-of-season reproductive performanve of anestrus goats. *Small Ruminant Research*. 133:21-29.
- Angel-Garcia, O., C.A. Meza-Herrera, C.A., J.M. Guillen-Muñoz, E. Carrillo-Castellanos, J.R. Luna-Orozco, M. Mellado, F.G. Veliz-Deras. 2015. Seminal charactersitics, libido and serum testosterone concentrations in mixed-breed goat bucks receiving testosterone during the non-breeding period. *Journal of Applied Animal Research*. 43(4):457-461.
- Aranda, O. G. (2006). Enriquecimiento del nopal para el ganado. *V Simposium-Taller sobre Producción y Aprovechamiento del Nopal en el Noreste de México*. Marín Nuevo León, México.
- Aranda, O. G., Flores-Valdez, C. A., Cruz-Miranda, M. (2008). Inclusion of Cactus Pear Cladodes in Diets for Finishing Lambs in Mexico. *J. PACD* 10, 49-55.
- Aranda O. G., C. A. Flores V., L.A. Miranda R. y M. Cruz M. (2009). El nopal como forraje. Extensión al campo, publicación trimestral de la Universidad Autónoma Chapingo. Año II vol. 2 Nums. 10-12.

Aréchiga, C. F., Aguilera, J. I., Rincón, R. M., Mendez, S., Bañuelos, V. R. y Meza-Herrera, C. A. (2008). Role and perspectives of goat production in a global world. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 9, 1-14.

Ariosvaldo, N., M. Suassuna, A. Goncalves, P.S. Furtado, D.D. Flores, V.C. Alan, O.M. De Melo. 2004. [Protein-enrichment of forage palm (*Opuntia ficus indica* Mill.) throughout biotechnological processes]. 41 Annual Meeting of the Brazilian Society of Animal Production. Campo Grande, 19-22 July, Brazil.

Batista, K. (2007). Perfil metabólico de cordeiros em pastejo submetidos a diferentes ambientes e suplementações alimentares no semi-arido paraibano. Patos, BF: Universidade Federal De Campina Grande Centro de Saúde e Tecnologia Rural.

Bedos, M., Velázquez, H., Fitz, G., Flores, J. A., Hernández, H., Duarte, G.,... Delgadillo, J. A. (2012). Sexually active bucks are able to stimulate three successive groups of females per day with a 4-hour period of contact. *Physiology & Behavior*, 106(2), 259-263.

Bedoya, O., Arenas, F., Rosero, R. y Posada, S. (2012). Efecto de la suplementación de ensilajes sobre perfiles metabólicos en cabras lactantes. *J Agric Anim Sci.*, 1(1), 26-37.

Ben Salem, H., H. Abdouli, A. Nefzaoui, A. El-Mastouri, and L. Ben Salem. 2005. Nutritive value, behaviour, and growth of Barbarine lambs fed on oldman saltbush (*Atriplex nummularia* L.) and supplemented or not with barley grains or spineless cactus (*Opuntia ficus-indica* f. *inermis*) pads. *Small Rumin. Res.* 59: 229-237.

Ben-Salem, H. y Smith, T. (2008). Feeding strategies to increase small ruminant production in dry environments. *Small Ruminant Research*, 77, 174-194.

Ben-Salem, H. y Abidi, S. (2009). Recent advances on the potential use of *Opuntia* spp. in livestock feeding. *Acta Horticulturae*, 811, 317-324.

Bindon, B. M. y Piper, L. R. (1984). Endocrine basis of genetic differences in ovine prolificacy. *10th International Congress on Anim. Repr. and AI. University of Illinois, USA VI Symposium Genetics and Fertility*. Simposio llevado a cabo en Illinois, USA.

Bücher-Bernales, D. D. (1998). *Caracterización del balance metabólico energético y proteico en el periodo de ordeño de ovejas Latxa. Cara Rubia a pastoreo* (tesis de grado). Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile

Bucholtz DC, Vidwans NM, Herbosa CG, Schillo KK, Foster DL. 1996. Metabolic interfaces between growth and reproduction. V. Pulsatile LH secretion is dependent upon glucose availability. *Endocrinology*. 137: 601-607.

Burger K, Gimpl G, Fahrenholz F. 2000. Regulation of receptor function by cholesterol. *Cellular and Molecular Life Sciences*. 57: 1577-1592.

Butera, D., Tesoriere, L., di Gaudio, F., Bongiorno, A., Allegra, M., Pintaudi, A. M.,... Livrea, M. A. (2002). Antioxidant activities of sicilian prickly pear (*Opuntia ficus indica*) fruit extracts and reducing properties of its betalains: Betanin and indicaxanthin. *J. Agric. Food Chem.*, 50, 6895-6901.

Blache, D. y Martin, G. B. (2009). Focus feeding to improve reproductive performance in male and female sheep and goats-How it works and strategies for using it. En: T. G. Papachristou, Z. M., Parissi, H., Ben y P., Morand. (Eds.), *Nutritional and foraging ecology of sheep and goats* (pp. 351-364). Zaragoza, Esoaña: Options Méditerranéennes, Série A (Séminaires Méditerranéens).

Brito, M., González, F., Ribeiro, L., Campo, R., Lacerda, L., Barbosa, P. y Bergmann, G. (2006). Composição do sangue e do leite em ovinos leiteiros do sul do Brasil: variações na gestação e na lactação. *Ciênc. Rural.*, 36(3), 942-8.

Campbell BK, Scaramuzzi RJ, Webb R. 1995. Control of antral follicle development and selection in sheep and cattle. *Journal Reproduction Fertil. Suppl.* 49: 335–350.

Carrillo, E., Meza-Herrera, C.A., Veliz-Deras, F.G. (2010). Reproductive seasonality of young French-Alpine goat bucks adapted to subtropical conditions in Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias.* 1(2):169-178.

Carrillo, E., C.A. Meza-Herrera, A. Olan-sanchez, P.A. Robles-Trillo, C. Leyva, J.R. Luna -Orozco, R. Rodriguez-Martinez, F.G. Veliz-Deras. (2014). The "female effect" positively affects the appetitive and consummatory sexual behaviour and testosterone concentrations of Alpine male goats under subtropical conditions. *Czech Journal of Animal Science.* 59(7):337-343.

Ceballos, A., Villa, N., Bohórquez, A., Quiceno, J., Jaramillo, M. y Giraldo, G. (2002). Análisis de los resultados de perfiles metabólicos en lecherías del trópico alto del eje cafetero colombiano. *Rev. Col. Cienc. Pec.*, 15(1), 26-35.

Cedeño, D., Ceballos, A., Garzón, C. y Daza, C. (2011). Estudio comparativo de perfiles metabólicos minerales en lecherías de dos regiones de Nariño. *Orinoquia.* 15(2), 160-8.

Contreras-Villarreal, V., C.A. Meza-Herrera, R. Rivas-Muñoz, O. Angel-Garcia, J.R. Luna-Orozco, E. Carrillo, M. Mellado, F.G. Veliz. (2016). Reproductive performance of seasonally anovular mixed-bred dairy goats induced to ovulate with a combination of progesterone and eCG or estradiol. *Animal Science Journal.* 87:750-755.

Cueto, M. I., Gibbons, A. E. y Abad, M. (2000). Reproducción en caprinos. EEA Bariloche: Centro regional Patagonia Norte. Recuperado de: http://www.produccion-animal.com.ar/produccion_caprina/inseminacion_transferencia_caprino/56-reproduccion.pdf

Cabrera-Baeza, H. F., Aguilera-Barreyro, A., Reis-de Sousa, T., Bernal-Santos, M. G. y Escobar-García, K. (2015). Producción de proteína microbiana utilizando nopal como sustrato en fermentadores en estado sólido para la alimentación animal. *XII Encuentro Participación de la Mujer en la Ciencia*. Congreso llevado a cabo en León, Guanajuato, México.

Chappel SC, Howles C. 1991. REVIEW Reevaluation of the roles of luteinizing hormone and follicle-stimulating hormone in the ovulatory process. *Human Reproduction*. 6: 1206-1212.

Chemineau, P., Gauthier, D., Poirier, J. C. y Saumande, J. (1982). Plasma levels of LH, FSH, Prolactin, Oestradiol 17 β and progesterone during natural and induced oestrus in the dairy goats. *Theriogenology*, 17(3), 313-323.

Chemineau, P. (1984). "Buck effect" in tropical goats. En: M., Courot. (Ed.) *The male in the farm animal reproduction* (310-315). Boston, EUA: Martinus Nijhoff Publishers.

Chemineau P., Daveau A., Maurice F. y Delgadillo J. A. (1992). Seasonality of estrus and ovulation is not modified by subjecting female Alpine goats to a tropical photoperiod. *Small Ruminant Research*, 8, 299-312.

Chemineau P., Baril, G. y Delgadillo J. A. (1993). Control hormonal de la reproducción en el caprino. *Revista Científica, FCV-LUZ*, 3(3), 197-210.

Delgadillo J. A. (2010). Environmental and social cues can be used in combination to develop sustainable breeding techniques for goat reproduction in the subtropics. *Animal*, 5(1):74-81. doi: 10.1017/S1751731110001400.

Echavarría-Cáirez, F., Gutiérrez, R., Ledesma, R., Banuelos, R., Aguilera, J. y Serna, P. (2006). Influence of small ruminant grazing systems in a semiarid range in the State of Zacatecas Mexico: I native vegetation. *Técnica Pecuaria en México*, 44, 203-217.

Devendra, C. 2014. Rainfed areas and animal agriculture in Asia: the wanting agenda for transforming productivity growth and rural poverty. *Asian-Australas. J. Anim. Sci.* 25: 122-142

Delgadillo, J. A., Leboeuf, B. y Chemineau, P. (1991). Decrease in the seasonality of sexual behavior and sperm production in bucks by exposure to short photoperiodic cycles. *Theriogenology*, 36(5), 755-770.

Delgadillo, J. A., Canedo, G. A., Chemineau, P., Guillaume, D. y Malpoux, B. (1999). Evidence for an annual reproductive rhythm independent of food availability in male creole goats in subtropical northern Mexico. *Theriogenology*, 52(4), 727-737.

Delgadillo, J. A., Flores, J. A., Véliz, F. G., Hernández, H. F., Duarte, G., Vielma, J.,... Malpaux, B. (2002). Induction of sexual activity in lactating anovulatory female goats using male goats treated only with artificially long days. *Journal of Animal Science*, 80(11), 2780-2786.

De la Rosa, J. P. y Santana, A. (2000). EL NOPAL: Usos manejo agronómico y costos de producción en México. CONAZA-UACH-CIESTAAM. 182 p.

Downey, B. R. (1980). Regulation of the estrous cycle in domestic animals. A review. *Can. Vet. J.*, 21, 301.

Díaz-Plascencia, D., C. Rodríguez-Muela, P. Mancillas-Flores, N. Ruíz-Holguín, S. Mena-Mungía, F. Salvador-Torres, and L. Duran-Melendez. 2012. [In vitro fermentation of forage *Opuntia* inoculated with *Kluyveromyces lactis* obtained from apple residues]. *Rev. Electr. Vet.* 13: 1-11.

Dong Y, Zhang X, Xie M, Arefnezhad B, Wang Z, Wang W, Feng S, Huang G, Guan R, Shen W, Bunch R, McCulloch R, Lei Q, Li B, Zhang G, Xu X, Kijas JW, Saledeh GH, Wang W, Jiang Y. 2015. Reference genome of wild goat (*capra aegagrus*) and sequencing of goat breeds provide insight into genic basis of goat domestication. *BMG-Genomics*. 16:431-

Echavarría CF, Salinas GH, Hoyos FG, Falcón RJ, Flores RR. 1999. Comercialización de carne de caprino en Zacatecas. Fundación Produce SAGAR-INIFAP. Folleto Científico No. 4.

Elias, A. y Lezcano, O. (1993). Efecto de la fuente de N y algunos factores de crecimiento en la población de levaduras que se establece en la Producción de Saccharina. *Rev. Cubana de Cienc. Agric.* 27, 227.

Elias, A. (2007). Estrategia para la producción de alimentos para animales a través de procesos biotecnológicos sencillos que protejan el medio ambiente. *II Congreso Internacional de Producción Animal Tropical*. Congreso llevado a cabo en La Habana, Cuba.

El-Mostafa, K., El Kharrassi, Y., Badreddine, A., Andreoletti, P., Vamecq, J., Saïd, M.,... Cherkaoui, M. (2014). Nopal cactus (*Opuntia ficus-indica*) as a source of bioactive compounds for nutrition, health and disease. *Molecules*, 19, 14879-14901. doi:10.3390/molecules190914879

Escareño, L., Salinas-González, H., Wurzinger, M., Iniguez, L., Sölkner, J. y Meza-Herrera, C. (2013). Dairy goat production system. *Tropical Animal Health Production*. 45(1): 17-34.

FAO. Estadísticas de producción caprina. Disponible en <http://www.fao.org>. Consultado 8 Diciembre 2011.

FAO. Estadísticas de producción caprina. Disponible en <http://www.fao.org>. Consultado 8 Diciembre 2014.

Foster DL, Nagatani S. 1999. Physiological perspectives on leptin as a regulator of reproduction: role in timing puberty. *Biology of Reproduction*. 60: 205-215.

Flores-Hernández, A., I. Orona-Castillo, R. Trejo-Calzada, J.G. Arreola-Ávila, B. Murillo-Amador, E. Rueda-Puente, and J.L. García-Hernández. 2007. [Technologies for the production of nopal (*Opuntia* spp) under extreme conditions in the North of Mexico. XVII National Congress on Agriculture Engineering - AMIA] 1-15.

Flores-Hernández, A., Macías-Rodríguez, F. J., Ortega-Sánchez, J. L., García-Herrera, G., Meza-Herrera, C. A. y Esquivel-Arriaga, O. (2017). Enriquecimiento proteico de nopal como forraje. [Folleto]. México: Olivar, J. A.

Flores-Nájera M.J., Meza-Herrera C.A., Echavarría F.G., Villagomez E. Iñiguez, L., Salinas H., González-Bulnes A. (2010). Influence of nutritional and socio-sexual cues upon reproductive efficiency of goats exposed to the male effect under extensive conditions. *Animal Production Science*. 50: 897-901.

Gaitán-Lemus, S. B., Ordaz-Ochoa, G., Val-Arreola, D., Martínez-Flores, H. E., Pérez-Sánchez, R. E., & Ortiz-Rodríguez, R. (2018). Diet supplemented with nopal (*Opuntia ficus-indica* L.) modifies productive behavior and blood profile in pigs, *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, XVII(1) 39-50. <http://dx.doi.org/10.5154/r.rchsza.2017.11.011>

Gallet C, Dupont J, Campbell B, Monniaux D, Guillaume D, Scaramuzzi R. 2011. The infusion of glucose in ewes during the luteal phase increases the number of follicles but reduces oestradiol production and some correlates of metabolic function in the large follicles. *Animal Reproduction Science*. 127: 154-63.

Gámez-Vazquez HG, Rosales-Nieto CA, Bañuelos-Valenzuela R, Urrutia-Morales J, Diaz-Gomez MO, Silva-Ramos JM, Meza-Herrera CA. 2008 Body condition score positively influence plasma leptin concentrations in creole goats. *Journal of Animal and Veterinary Advances*. 7: 1237-1240.

García, E. (2004). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koeppen*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.

Gazal S, Kouakou B, Amoah EA, Barb CR, Barrett JB, Gelaye S. 2002. Effects on N-methyl-D,L-aspartate on LH, GH, and testosterone secretion in goat bucks maintained under long or short photoperiods. *Journal of Animal Science*. 80: 1623-1628.

Goodman, R. L. (1988). Neuroendocrine control of the ovine estrous cycle, En: E., Knobil y J., Neill. (Eds.), *The Physiology of Reproduction*, (pp. 1929-1969). USA: Raven Press, Ltd.

Gonzalez-Bulnes, A., Carrizosa, J. A., Urrutia, B., Lopez-Sebastian, A. 2006. Oestrous behaviour and development of preovulatory follicles in goats induced to ovulate using the male effect with and without progesterone priming. *Reprod. Fertil. Dev.* 18:745-750.

González-Bulnes A, Meza-Herrera CA, Rekik M, Ben Salem H, Kridli RT. 2010. Limiting factors and strategies for improving reproductive outputs of small ruminants reared in semi-arid environments. *Semi-arid environments: Agriculture, water supply and vegetation*. Ed: KM Degenovine. Nova Science Publishers Inc. Hauppauge, NY, USA. 41-60.

González-Bulnes, A., Meza-Herrera, C. A., Rekik, M., Ben-Salem, H. y Kridli, R. T. (2011). Limiting factors and strategies for improving reproductive outputs of small ruminants reared in semi-arid environments. En: K. M., Degenovine. (Ed.), *Semi-arid environments: ariculture, water supply and vegetation* (pp. 41-60). Nueva York, EUA: Nova Science Publishers Inc.

González-Stagnaro, C., Pelleiter, J., Cognié, Y., Locatelli, A., Baril, G. y Corteel, J. M. (1984). Descarga preovulatoria de LH y momento de ovulación en cabras lecheras durante el celo natural o inducido vía hormonal. *10th Cong. On Anim. Reprod. and Artificial Insemination*. Congreso llevado a cabo en Illinois, USA.

González-Álvarez, V.H., C.A. Meza-Herrera, C. Leyva, A.S. Alvarado-Espino, J.M. Guillen-Muñoz, R. Rodriguez-Martinez, F.G. Veliz-Deras. (2016). Effectiveness of different hCG and GnRH based protocols in progesterone primed goats on estrus induction and reproductive outcomes in out-of-season goats. *Journal of Animal Research*. 6(2):177-182.

Guerra-García, M., Meza-Herrera, C. A., Sánchez-Torres-Esqueda, M. T., Gallegos-Sánchez, J., Torres-Hernández, G. y Pro-Martínez, A. (2009). IGF-1 and ovarian activity of goats in divergent body condition and supplemented with non-degradable ruminal protein. *Agrociencia*, 43, 241-247.

Guerrero-Cruz, M. M. (2010). La Caprinocultura en México, una Estrategia de Desarrollo. *RUDICS. Revista Universitaria Digital de Ciencias Sociales*, 1, 1-8.

Greylling, J. P. C. y Van Niekerk, C. H. (1991). Diferent synchronization techniques in Boer goats doe outside the normal breeding season. *Small Rumin. Res.*, 5, 233-243.

Hu J, Zhonghua Z, Shen WJ, Azhar S. 2010. Review: Cellular cholesterol delivery, intracellular processing and utilization for biosynthesis of steroid hormones. *Nutrition and Metabolism*. 7:47.

Johnson, L., Fabre N. C., Chanvallon, A. François, D., Fassier, T., Menassol, J.,... Scaramuzzi, R. J. (2011). Condition on the Pituitary and Ovarian Responses of Anoestrous Ewes to the “Ram Effect”. *J Veterinar Sci Technol* S2:001. doi:10.4172/2157-7579.S2-001

- Jordán SD, Könnér AC, Brüning JC. 2010. Review: Sensing the fuels: glucose and lipid signaling in the CNS controlling energy homeostasis. *Cellular and Molecular Life Sciences*. 67: 3255–3273.
- Karsh, F. J. (1984). The hipothalamus and anterior pituitary gland, En: C. R., Austin y R. V., Short. (Eds.), *Reproduction in Mammals* (PP. 1-20). England: Cambridge University Press.
- Kuti, J. O. (2004). Antioxidant compounds from four *Opuntia* cactus pear fruit varieties. *Food Chem.*, 85, 527-533.
- Leboeuf, B., Delgadillo, J. A., Manfredi, E., Piacère, A., Clément, V., Martin, P.,... De Cremoux, R. (2008). Management of goat reproduction and insemination for genetic improvement in France. *Reproduction Domestic Animal*, 43, 379-85.
- Levin BE. 2001. Glucosensing neurons do more than just sense glucose. *International Journal of Obesity and Related Metabolic Disorders*. 25:68-72.
- Lindsay, D. R., Martin, G. B. y Williams, I. H. (1993). Nutrition and reproduction. En: G. J., King. (Ed.), *Reproduction in domesticated animals* (pp. 459-491). Amsterdam, Netherland: Elsevier BV.
- Litell, C. R., Freund, J. R. y Phillip, C. (1991). SAS® System for Linear Models, Third Edition, Cary, NC: SAS Institute Inc., 329 pp
- López, M. (1980). Activité oestrienne et progesteronemie chez la chevrette Alpine pendant la saison sexuelle qui suit sa naissance: Effect a la introduction du male dans le troupeau. Dipleme de Ettudes approfondies Université Pierre et Marie Curie. Paris VI.
- López, J. J., Fuentes, J. M. y Rodríguez, R. (2001). Production and use of Opuntia as forage in northern Mexico. En C., Mondragón y S., Pérez. (Eds). *Cactus (Opuntia spp.) as forage* (pp. 29-36). Coahuila, México: FAO Plant Production and Protection Paper.
- Luna-Orozco, J. R., Guillen-Muñoz, J. M., De Santiago-Miramontes, M. A., García, J. E., Rodríguez-Martínez, R., Meza-Herrera, C. A.,... Véliz, F. G. (2012). Influence of sexually inactive bucks subjected to long photoperiod or testosterone on the induction of estrus in anovulatory goats. *Tropical Animal Health and Production*, 44, 71-75.
- Martin, G. B., Rodger, J. y Blache, D. (2004). Nutritional and environmental effects on reproduction in small ruminants. *Reproduction Fertility Development*, 16, 491-501.
- Martínez MJ, Espinosa-García MT, Maldonado G, Uribe A, Flores O, Milán R, García C. 2001. El colesterol es esencial en el desarrollo embrionario y en el crecimiento celular. *Revista de la Facultad de Medicina UNAM*. 44:168-176.
- Mellado, B. M. (1985). *Producción de caprinos en pastoreo*. México: trillas.

- Mellado M. 1997. La cabra criolla en América Latina. *Vet. Mex.* 28: 333-343.
- Mellado, B. M. y Valdés O. F. (1998). Guía para el manejo productivo en las explotaciones caprinas del norte de México. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Subdirección de Desarrollo.
- Merlos, M., Martínez, R. D., Torres, G., Mastache, A. A. y Gallegos, J. (2008). Evaluación de características productivas en cabritos Boer x Local, Nubia x Local y locales en el trópico seco de Guerrero, México. *Veterinaria México*, 39(3), 323-333.
- Meza-Herrera, C. A., Sanchez, J. M., Chavez-Perches, J. G., Salinas, H. y Mellado, M. (2004). Protein supplementation, body condition and ovarian activity in goats. Preovulatory serum profile of insulin. *South African Journal of Animal Science*. 34 (1), 223-226.
- Meza-Herrera, C. A., Ross, T., Hallford, D. M., Hawkins, D. y González-Bulnes, A. (2007a). Effects of body condition and protein supplementation on LH secretion and luteal function in sheep. *Reproduction Domestic Animals*. 42, 461-465.
- Meza-Herrera, C.A. (2008). Regulatory mechanisms of puberty in female goats: Recent concepts. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 9:29-38.
- Meza-Herrera, C.A., González-Bulnes, A., Kridli, R.T., Mellado, M., Arechiga-Flores, C.F., Salinas, H., y Luginbuhl, J.M. (2010a). Neuroendocrine, metabolic and genomic cues signalling the onset of puberty in females. *Reproduction in Domestic Animals*. 45(6).
- Meza-Herrera, C.A., Veliz-Deras, F.G., Wurzinger, M., Lopez-Ariza, B., Arellano-Rodriguez, G., y Rodriguez-Martinez, R. (2010b). The kiss-1, kisspeptin, gpr-54 complex: A critical modulator of GnRH neurons during pubertal activation. *Journal of Applied Biomedicine*. 8(1):1-9.
- Meza-Herrera, C.A., Hernandez-Valenzuela, L.C., Gonzalez-Bulnes, A., Tena-Sempere, M., Abad-Zavaleta, J., Salinas-Gonzalez, H., Mellado, M., y Veliz-Deras, F.G. (2011a). Long-term betacarotene-supplementation enhances serum insulin concentrations without effect on the onset of puberty in the female goat. *Reproductive Biology*. 11(3):236-249.
- Meza-Herrera, C.A., Torres-Moreno, M., Lopez-Medrano, J.I., Gonzalez-Bulnes, A., Veliz, F.G., Mellado, M., Wurzinger, M., Soto-Sanchez, M.J., y Calderon-Leyva, M.G. (2011b). Glutamate supply positively affects serum release of triiodothyronine and insulin across time without increases of glucose during the onset of puberty in the female goat. *Animal Reproduction Science*. 125(1-4):74-80.
- Meza-Herrera, C.A. (2012). Puberty, kisspeptin and glutamate: A ceaseless golden braid. In: *Advances in Medicine and Biology*. Ed: Berhardt L.V. Nova Science Publishers Inc. Hauppauge, NY, USA., Vol. 52, Chapter 3, p 97-124. ISBN: 978-1-62081-314-0.

Meza-Herrera, C. A. y Tena-Sempere, M. (2012). Interface between nutrition and reproduction: the very basis of production. In: Animal Reproduction in Livestock. S. Astiz y A. Gonzalez (Ed.), Encyclopedia of Life Support Systems. Oxford, UK: Eolss Publishers.

Meza-Herrera, C. A., F. Vargas-Beltrán, H. Vergara-Hernandez, U. Macias-Cruz, L. Avendaño-Reyes, R. Rodriguez-Martinez, G. Arellano-Rodriguez, F.G. Veliz-Deras. (2013a). Betacarotene supplementation increases ovulation rate without an increment in LH secretion in cyclic goats. *Reproductive Biology*. 13(3):51-57.

Meza-Herrera, C.A., F. Vargas-Beltrán, M. Tena-Sempere, A. Gonzalez-Bulnes, U. Macias-Cruz, F.G. Veliz-Deras. (2013b). Short-term betacarotene supplementation positively affects ovarian activity and serum insulin concentrations in a goat model. *Journal of Endocrinological Investigation*. 36(3):185-189.

Meza-Herrera, C.A., Reyes-Ávila, J.M., Tena-Sempere, M., Veliz-Deras, F.G., Macias-Cruz, U., Rodriguez-Martinez, R., y Arellano-Rodriguez, G. (2014a). Long-term betacarotene supplementation positively affects serum triiodothyronine concentrations around puberty onset in female goats. *Small Ruminant Research*. 116(2-3):176-182.

Meza-Herrera, C.A., Calderon-Leyva, G., Soto-Sanchez, M.J., Serradilla, J.M., Garcia-Martinez, A., Mellado, M., y Veliz-Deras, F.G. (2014b). Glutamate supply positively affects cholesterol concentrations without increases in total protein and urea around the onset of puberty in goats. *Animal Reproduction Science*. 147(3-4):106-111.

Meza-Herrera, C.A., González-Velázquez, A., Veliz-Deras, F.G., Rodríguez-Martínez, R., Arellano-Rodríguez, G., Serradilla, J.M., García-Martínez, A., Avendaño-Reyes, L. y Macías-Cruz, U. (2014c). Short-term glutamate administration positively affects the number of antral follicles and the ovulation rate in cyclic adult goats. *Reproductive Biology*. 14(4):298-301.

Meza-Herrera, C. A., Cano-Villegas, C., Flores-Hernandez, A., Veliz-Deras, F. G., Calderon-Leyva, G., Guillen-Muñoz, G. M.,... Avendaño-Reyes, L. (2017). Reproductive outcomes of anestrus goats supplemented with spineless *Opuntia megacantha* Salm-Dyck protein-enriched cladodes and exposed to the male effect. *Trop Anim Health Prod.*, 49(7), 1511-1516. doi: 10.1007/s11250-017-1356-y

Moffatt-Blue CS, Sury JJ, Kelly AY. 2006. Short photoperiod induced ovarian regression is mediated by apoptosis. *Reproduction*.131: 771-782.

Muñoz-Gutierrez M, Findlay PA, Adam CL, Wax G, Campbell BK, Kendall NR, Khalid M, Forsberg M, Scaramuzzi RJ. 2005. The ovarian expression of mRNAs for aromatase, IGF-I receptor, IGF- binding protein-2, 4 and 5, leptin receptor in cycling ewes after three days of leptin infusion. *Reproduction*.130: 869-881.

McDonald, P., Edwards, R. A., Greenhalgh, J. F., Morgan, C. A. (2002). *Nutrición animal*. Zaragoza, España: Acribia.

Nishimoto H, Matsutani R, Yamamoto S, Takahashi T, Hayashi K, Miyamoto A, Hamano S, Tetsuka M. 2006. Gene expression of glucose transporter (GLUT) 1, 3 and 4 in bovine follicle and corpus luteum. *Journal of Endocrinol.* 188: 111-119.

Oblitas, F. (2008). Uso de los perfiles metabólicos en el diagnóstico y prevención de trastornos metabólicos y nutricionales en vacas lecheras de la Campiña de Cajamarca, Sirivs. Revisión Bibliográfica. SIRIVS. Seminario Avanzado de Investigación.

Ohkura S, Ichimaru T, Itoh F, Matsuyama S, Okamura H. 2004. Further evidence for the role of glucose as a metabolic regulator of hypothalamic gonadotropin-releasing hormone pulse generator activity in goats. *Endocrinology.* 145: 3239–3246.

Oldham, C. y Lindsay, D. (1980). Laparoscopy in the ewe: A photographic record of the ovarian activity of ewes experiencing normal or anormal oestrous cycles. *Animal Reproduction Science*, 3, 110-124.

Oussaid B, Mariana JC, Poulin N, Fontaine J, Lonergan P, Beckers JF, Cognie Y. 1999. Reduction of the developmental competence of sheep oocytes by inhibition of LH pulses during the follicular phase with a GnRH antagonist. *Journal Reproduction Fertil.* 117: 71–77.

Paul MJ, Zucker I, Schwartz WJ, 2008: Tracking the seasons: the internal calendars of vertebrates. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences.* 363: 341–361.

Pelleiter, J., González-Stagnaro, C., Baril, G. y Corteel, J. M. (1982). La décharge préovulatoire de LH induite chez la chèvre en période d'anoestrus saisonnier. *C.R. Acad. Sci. Paris, t. 294, Série III*, 867-870.

Pinos RJ, Sánchez TM. 2001. Efecto del consumo de energía en los procesos reproductores de la hembra bovina. Una revisión. *Revista científica-LUZ.* 11: 256-263

Rekik, M., Gonzalez-Bulnes, A., Lassoued, N., Ben-Salem, H., Tounsi, A. y Ben-Salem, I. (2012). The cactus effect: an alternative to the lupin effect for increasing ovulation rate in sheep reared in semi-arid regions? *Animal Physiology and Animal Nutrition*, 96(2), 242-249. doi: 10.1111/j.1439-0396.2011.01145.x

Rzedowski, J. (2006). Vegetación de México. 1ra Edición digital. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. p.253-165.

Ritar, A. J., Maxwell, W. M. C. y Salamon, S. (1984). Ovulation and LH secretion in the goat after intravaginal progestagen sponge-PMSG treatment. *J. Reprod. Fert.*, 72, 559-563.

Rivas-Muñoz, R., Carrillo, E., Rodríguez-Martínez, R., Leyva, C., Mellado, M. y Véliz, F. G. (2010). Effect of body condition score of does and use of bucks subjected to added artificial light on estrus response of Alpine goats. *Tropical Animal Health Production*, 42, 1285-1289.

Rodríguez-Martínez, R., Angel-García O, Guillen-Muñoz JM, Robles-Trillo PA, De Santiago-Miramontes MA, Meza-Herrera CA, Mellado M, Veliz FG. 2013. Estrus induction in anestrus mixed-breed goats using the female-to-female effect. *Trop. Anim. Health Prod.* 45:911-915.

Rojas, R. O. (1990). Factores que afectan la prolificidad en ovinos de pelo. *Segunda reunión sobre producción animal tropical*. Universidad Autónoma de Yucatán. Congreso llevado a cabo en Yucatán, México.

Rosales-Nieto C.A., Gamez-Vazquez H.G., Gudino-Reyes J. Reyes-Ramirez E.A., Eaton M., Stanko R.L., Meza-Herrera C.A., Gonzalez-Bulnes A. (2011). Nutritional and metabolic modulation of the male effect on the resumption of ovulatory activity in goats. *Animal Production Science*. 51(2): 115-122.

Rzedowski, J. (2006). Vegetación de México. 1ra Edición digital. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. p.253-165.

Sakly, C., Rekik, M., Ben-Salem, I., Lassoued, N., Gonzalez-Bulnes, A. y Ben-Salem, H. (2014). Reproductive response of fat-tailed Barbarine ewes subjected to short-term nutritional treatments including spineless cactus (*Opuntia ficus-indica f. inermis*) cladodes. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 98, 43-49. doi: 10.1111/jpn.12028

Scaramuzzi, R., Campbell, B., Downing, J., Kendall, N., Khalid, M., Muñoz-Gutiérrez, M. y Somchit, A. (2006). A review of the effects of supplementary nutrition in the ewe on the concentrations of reproductive and metabolic hormones and the mechanisms that regulate folliculogenesis and ovulation rate. *Reproduction Nutrition Development*, 46, 339-354.

Scaramuzzi, R. J., Oujagir, L., Menasso, J. B., Freret, S. Piezel A., Brown, H. M., Cognie, J. y Fabre, C. (2014). The pattern of LH secretion and the ovarian response to the 'ram effect' in the anoestrous ewe is influenced by body condition but not by short-term nutritional supplementation. *Reproduction, Fertility and Development*. doi: 10.1071/RD13139

SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). (2011). Sistema producto caprino plan rector nacional. Inca Rural.

SIAP, 2012. (SIAP, Servicio de información Agroalimentaria y Pesquera). SAGARPA, México. www.siap.gob.mx. Consultado el día 14/06/2012.]. SAGARPA, México. www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=351

SAGARPA- SIAP (Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera). (2014). Anuario estadístico de la producción agropecuaria. México.

Shelton, M. (1978). Reproduction and breeding of goats. *Journal of Dairy Science*, 61, 994-1010.

Tamanini, C., Bono, G., Cairoli, F. y Chiesa, F. (1985). Endocrine responses induced in anestrus goats by the administration of different hormones after a fluorogestone acetate treatment. *Anim. Reprod. Sci.*, 9, 357-364.

Thimonier, J. y Mauleon, P. (1969). Variations saisonnières du comportement d'oestrus et des activités ovarienne et hypophysaire, chez les ovines. *Ann. Biol. Anim. Bioch. Biophys*, 9: 233.

Urrutia-Morales, J., Huerta, H. A., Gámez, V. H., Díaz, M. O. y Ramírez, B. M. (2001). Efecto del nivel de suplementación en la actividad reproductiva y en la respuesta al efecto macho de cabras criollas. *2º Congreso Latinoamericano de Especialistas en Pequeños Rumiantes y Camélidos Sudamericanos. XI Congreso Nacional de Ovinocultura*. Congreso llevado a cabo en: Mérida Yucatán.

Urrutia-Morales, J., Meza-Herrera, C. A., Escobar-Medina, F. J., Gámez-Vázquez, H. G., Ramírez-Andrade, B. M., Díaz-Gómez, M. O. y González-Bulnes, A. (2009). Relative roles of photoperiodic and nutritional cues in modulating ovarian activity in goats. *Reprod. Biol.*, 9, 283-294.

Véliz, F. G., Moreno, S., Duarte, G., Vielma, J., Chemineau, P., Malpux, B. y Delgadillo, J. A. (2002). Male effect in seasonally anovulatory lactating goats depends on the presence of sexually active bucks, but not estrous females. *Animal Reproduction Science*, 72, 197-207.

Valente, M. M., da Paixão, D., do Nascimento, A. C., dos Santos, F.P., Scheinvar, L. A., Moura, R. L.,... da Silva, F. M. (2010). Antiradical activity, nutritional potential and flavonoids of the cladodes of *Opuntia monacantha* (Cactaceae). *Food Chem.*, 123, 1127-1131.

Véliz, F. G., Meza-Herrera, C. A., De Santiago-Miramontes, M. A., Arellano-Rodríguez, G., Leyva, C., Rivas-Muñoz, R. y Mellado, M. (2009). Effect of parity and progesterone priming on induction of reproductive function in saanen goats by buck exposure. *Livestock Science* 125(2-3), 261-265.

Walkden, S. W, Restall, B. J. y Henniawati. (1993 b). The male effect in the Australian cashmere goat. 2. Role of olfactory cues from the male. *Anim Reprod Sci.* 32:55-67. doi: 10.1016/0378-4320(93)90056-W

Williams SA, Blache D, Martin GB, Foot R, Blackberry MA, Scaramuzzi RJ. 2001. Effect of nutritional supplementation on quantities of glucose transporters 1 and 4 in sheep granulosa and theca cells. *Reproduction*. 122: 947–956

Zhou J, Bievre M, Bondy CA. 2000. Reduced GLUT1 expression in *Igf1*^{-/-} null oocytes and follicles. *Growth Hormone & IGF Research*. 10: 111–117